

特 载

人 201002

中国首次考察南极洲 和南大洋记实

李文祺

南极洲是世界第五大洲，面积一千四百万平方公里，相当于一个半中国的大小。南极洲及其周围的南大洋蕴藏着丰富的矿产资源和生物资源。但由于地处极点，终年气候寒冷，冰雪覆盖，无人定居，他是世界上最后一块未被开发的大陆。那里的自然环境恶劣，气候变化极大，对整个地球的气候有巨大的影响。那里没有环境污染，可以进行广泛的、精密的科学研究。目前，世界上已有十八个国家在南极建立了常年考察站和夏季考察站，探索南极的奥秘。

我国对南极的科学考察是从二十世纪八十年代开始的。1980年，国家选派中国科学院地理研究所的地质地貌学家张青松和国家海洋局第二海洋研究所的海洋物理学家董兆乾去南极澳大利亚的考察站进行科学考察。这是中华民族历史上首先到达南极的两个。此后我国科学工作者，又陆续有30多人次前往考察。但是，由于那时我国没有自己的常年考察站，科学工作者只是利用澳大利亚、新西兰、智利、阿根廷等国家的考察站和他们的科研人员共同工作。考察的学科有：气象、冰川、地质、地貌、地球化学、海洋生物、海洋地球物理和寒带建筑等。尽管考察的面不那么广，但我国的科学家却在考察期间战胜重重困难，吸取了不少国家在南极考察的经验，同时采集了大量的化石样品和动、植物标本，拍摄了不少珍奇的照片，获得了一些宝贵的数据，并且撰写出几十篇有关南极考察的论文。所有这些都对我国目前独立进行南极考察提供了有益的借鉴和帮助。

从1980年到1982年期间，我国派代表以观察员身份出席了南极科学考察委员会第十六届和第十七届两次会议。后来，澳大利亚、新西兰、日本和阿根廷等国的南极局和极地研究所的代表团访问了我国。1981年5月，国务院批准成立国家南极考察委员会，逐步开展我国南极考察的各项准备工作；1983年5月，五届全国人大常委会第27次会议通过我国加入《南极条约》的决定，使我国成为世界上36个《南极条约》缔约国之一，国际南极考察委员会又吸收我国为会员国，为我国进一步加强南极考察的国际合作奠定了基础。但这种规模远远达不到认识和了解南极的目的。此外，由于我国尚未独立地进行南极考察，仅仅是《南极条约》的缔约国而不是协商国，对南极事务没有决策权和发言权，这同我国在国际上的地位极不相称。

为了促进我国的四化建设，加强我国与世界各国的科学技术的交流与合作，推动我国极地科学考察事业的发展，一句话，为和平利用南极作出中华民族的贡献，使我国在南极事务上取得决策权和发言权，1984年6月25日，国务院决定在南极洲建立我国自己的科学考察站，同时进行南大洋和南极洲的科学考察工作。

一、组队远航

中国南极考察编队的成员来自全国二十三个部、委、局的六十个单位，共591人。年龄最大的60岁，最小的19岁。

总指挥由国家海洋局副局长陈德鸿担任，副总指挥由中国人民解放军海军某基地参谋长赵国臣和国家海洋局东海分局顾问董万银担任。南大洋考察队队长由国家海洋局第二海洋研究所副所长金庆明担任。南极洲考察队队长由国家南极办公室主任、气象工程师郭琨担任。

承担南极考察的船只由“向阳红10”号综合性远洋科学考察船和“J121”远洋打捞救生船组成。两船都是一万三千吨级的巨轮。

去程航线选定为：上海→日本吐噶喇水道→关岛(南)→吉尔伯特(南)→社会群岛→合恩角→阿根廷乌斯怀亚→乔治岛。回程航线选定为：乔治岛→智利鼓塔阿雷纳斯→麦哲伦海峡→社会群岛→菲尼克斯群岛(东)→马绍尔群岛(北)→吐噶喇水道→上海。来回航程都是新开辟的航线，困难多，危险大。航程共27234.85海里。

经过半年的紧张准备，中国南极考察编队迅速组成，科技考察人员配置及五百多吨建站物资均已准备就绪。党中央、国务院、中央军委对这次考察建站非常关心。考察队临行前，中央领导同志万里、胡启立等亲切接见了考察队全体代表。邓小平同志为这次考察亲笔题字：“为人类和平利用南极做出贡献”。

1984年11月20日，中国首次南极考察编队在上海国家海洋局东海分局码头举行了隆重的启航仪式。国家南极考察委员会主任武衡，海军政委李耀文，国家海洋局局长罗钰如，中共上海市委书记、副市长阮崇武等领导同志为考察队员送行，并分别把一面鲜艳的五星红旗，一块镌刻着邓小平同志题字的铜匾，一块中国南极长城站站标授给考察编队。接着，考察队鸣笛起航，离开上海，远航南极。

经过三十七天，一万一千海里的艰苦航行，考察编队成功地横渡了太平洋，于北京时间1984年12月26日下午5时，安全到达中国南极长城站站地附近的锚泊点——南设得兰群岛的乔治岛民防湾。

二、选站建站

考察编队进入民防湾后，便立即乘直升飞机和登陆艇着地登陆，选择站址。队员们跋山涉水，对乔治岛、民防湾和拉塞雷湾沿岸进行勘察后，经过反复研究，分析比较，选定在乔治岛的菲尔德斯半岛建立我国第一个南极“长城考察站”。“长城考察站”前的无名海湾已命名为“长城湾”，站后的一个1,000平方米的淡水湖命名为“西湖”，南极“西湖”旁的一个山峰命名为“山海关”。从此，用中国名字命名的海湾、湖泊、山峰，第一次出现在南极洲的版图上。

1984年12月31日，北京时间1985年元旦，举行了建站奠基典礼。“中国南极长城站”位于南纬 $62^{\circ}12'59.32''$ ，西经 $58^{\circ}57'51.87''$ 。平均海拔高度10米左右。长城站占地0.8平方公里，有足够的淡水源——三个淡水湖，可供饮用；海滩地势平缓，便于登陆装卸物资；交通条件好，距智利考察站2公里，距苏联别林斯高晋站2.77公里，距乌拉圭站3.5公里，距巴西站31.8公里，距波兰站25.9公里，便于相互支援；该处有众多的海洋动物、鸟类和植物。海洋动物有海豹、海象、海狼；鸟类有巨海燕、雪海燕和贼鸥；植物有地衣、苔藓，地衣是菌类和藻类的混合体，它生在卵石上，生命力相当顽强；苔藓象厚厚的地毯，有青、黄、黑三种颜色，因而有利于进行综合性的科学考察。

然而，乔治岛的气候相当恶劣，具体表现为以下六方面：

1. 持续低温。在建站过程中，考察队员一直在平均摄氏2.5度的气温中工作、生活。乔治岛的夏天，最低气温零下 4.7°C ，最高气温 11.2°C ，有57天在 5°C 以下，产生霜冻，对人体健康影响很大。

2. 阴冷潮湿。湿度平均为87.3%，高的超过90%。考察队员经常处于雾、雨、雪、露水之中，容易得关节痛的疾病。

3. 强风凛冽。常常出现10级以上的狂风。

4. 雨雪频繁。下雪量最大的一次达11.9毫米，积雪58毫米，最厚处达1.1米。仅1985年2月的降水量即达86.9毫米。

5. 气压低。平均气压为990.5毫巴，最低的时候达958.0毫巴。考察队员感到胸闷气急，心脏压力很大。

6. 天气多变。早有雾；中午云开变少云；午后云增多，下雪下雨；晚上刮大风。一天之内，气候变化多端，反复无常。

在极其恶劣的自然环境条件下要把500多吨建站物资、设备运送到岸上去，是非常困难的。在运卸物资的17天中，近一半的时间为风暴天气。考察队员不畏艰险，历尽千辛万苦，才使建站物资于1985年1月17日安全地全部运卸岛上。

经过45天的艰苦奋斗，我国第一个南极科学考察实验基地——“中国南极长城站”，于1985年2月15日竣工。它距伟大祖国的首都北京17501.949公里，方位 $170^{\circ}38'27''$ 。

长城站的主体建筑是两栋钢结构的外露式活动房屋，总面积350平方米。其中一栋为可供60人居住的宿舍楼；另一栋划分为餐厅兼图书室、俱乐部、工作室等。此外，还建成四座总面积为251平方米的木板房，其中一座60多平方米的发电机房，由两台国产柴油发电机组全天24小时轮流发电、供暖。

在站区的南北两方，分别耸立着高24米、边长100米和高18米、边长50米的无线电通信天线阵。站区内建有一个拥有卫星云图接收器、气象通讯环形天线阵和气象观察塔等设施的气象观测场，它的规模相当于国内地区一级的气象站。另外，还备有高层大气物理记录场，卫星多普勒定位点、地震记录平台、直升飞机场、储油库等设施。

在建站的同时，中国南极洲考察队从1985年1月23日起，在乔治岛上开展了地质、地貌、大气物理、地震、测绘、生物和海洋等学科的科学考察，取得了大量的样品、资料，绘制了站区地形图。长城站周围还发现了玛瑙、翡翠等矿石。

三、南大洋考察

从1985年1月19日起,中国南大洋考察队暂别乔治岛和“J121”号船,驾驶“向阳红10”号考察船向南极圈挺进。一路航行,一路考察,于1月24日23点01分24秒到达南纬 $66^{\circ}33'00''$,西经 $69^{\circ}15'50''$,第一次进入了南极圈。25日凌晨1点45分,考察船到达南纬 $66^{\circ}54'$,西经 $69^{\circ}14'$ 的考察站位,成功地进行了极圈内的考察,捕到了肉红色的“海笔”(又名海鳃),还有海参、水螅虫和各种各样多毛类环节动物。

紧接着,考察队面临着生与死的搏斗。1月26日,风速每秒34米的极地飓风袭击正在考察中的“向阳红10”号船,船处在极度危险之中:

手工舵、机械舵、自动舵失灵,万吨巨轮失去控制;

船尾五吨液压吊车的钢架驾驶室被巨浪摧毁;

船头深深地扎入浪谷,船尾高高抬起,致使两台推进器空转,空转的推进器随时可造成船的折断和翻身;

上层甲板出现了六处裂缝,主甲板两舷,加强柱四处裂缝,船体伤痕斑斑,

滚滚巨浪,使船发生剧烈的颤抖,金属构件的相互挤压发出“嘎吱嘎吱”的巨响。船长张志挺神情严峻地趴在舷窗上,用“右车进四,左车退二”,“左车进一,右车退一”的方法抗衡着12米高,波长100米的巨浪,使船保持在 $345^{\circ}\sim 350^{\circ}$ 的最佳角度。当天23时45分,“向阳红10”号船转向 104° ,冲出了飓风的区域。苦苦搏斗了15小时之久,终于化险为夷,度过难关脱离险境。

南大洋考察队在战胜12级以上飓风之后,完成了南大洋的多学科考察。1985年2月7日,36名考察队员冒着很大的危险,在南纬 $64^{\circ}30'$,西经 $61^{\circ}47'$,登上南极大陆的雷库鲁斯角,插上了五星红旗。这是第一次登上南极大陆本土,进行了实地考察。

南大洋考察是一次综合性的海洋学环境考察,涉及6个专业、23个项目,又在磷虾生态等一些专题上有所侧重和深入。从获得的第一手实际资料来看,收获是十分丰富的,并具有综合性、代表性和高精确度的特点;从装备的调查仪器来看,集中了国内先进的装备:万米测深仪,CTD温盐深自记仪,抛弃式浪高仪,1.5米直径的圆锥形科研拖网和底栖拖网,以及化学分析仪器等,使调查成果较为理想;从调查的区域范围来看,涉及南极海域的海湾、水道、极圈海域、陆架浅海、次海陆坡和深海洋盆的各种不同典型环境。

首次南大洋考察实现了两个目标:完成测区的综合考察;在海洋生态环境、海洋生物新种、海洋水体微结构、现代沉积作用等方面有所发现。南大洋考察的胜利,标志着我国海洋科学事业进入了极区科学研究的新领域,对了解南大洋的自然环境,进而对其资源的开发和利用起了探路和先行的作用。同时,为我国和平利用南极和在国际上取得决策权作出了贡献。

南大洋考察的主要收获是:在10万平方公里的南极海域里考察调查了36个站位,测线长3600海里,观测的水深从几十米到4000多米,取得了营养盐、叶绿素等水化学分析的数据,收集浮游生物样品674瓶,拖到底栖生物标本255瓶、49袋、2大桶。捕到磷虾109公斤,有51条活体磷虾饲养三个月后从南极带回国内饲养。此外,由于考察船在南大洋考察时,南北跨达7个纬度,东西跨达14个经度,使一条船同时进行海洋学的所有项目的综合观测,这在世界上是少有的。

南大洋考察的第一手资料,使中国海洋科研工作者,在以下四个方面有了统一的认识:

1. 南极海域是一个生物生产力高、资源丰富的海区 水体中的营养盐类比一般温带、热带海区高几倍至数十倍,海洋生物在海水中赖以生存的溶解氧含量比一般海区高10~20%,表明海区生产力高低标志之一的叶绿素含量也比一般海区高,因此浮游植物和动物相当丰富,至于海域中的磷虾资源更是得天独厚。另外,南极海域底栖生物、鸟类、兽类等数量之多,个体之大,分布之广,十分惊人。

2. 南极磷虾具有明显的集群特性 凡是捕获量多的站位,在探鱼仪上的映象一般都较明显。考察队曾发现的磷虾群延伸达数公里,用1.8平方米张口的科研样品网,一网即捕得42斤。两个虾群推测密度为20克/米³和25克/米³。磷虾按不同季节在一定的水层中活动,在这个季节一般在10~50米深处。此外对磷虾的数量分布及其与海洋环境的联系亦有了一定的认识。

3. 测区的水体结构和流路特征 该区夏季海水的温度差和盐度差都较小,在200米以上水层普遍出现温跃层和逆温层。从垂直结构看,测区可分为陆坡型、海峡型和海湾型,三种类型分别由不同的水团组成。布兰斯菲尔德海峡流向一般为西南至东北向。

4. 南极陆架的地貌具有水层深、宽度窄、地形有起伏的特征 陆架和陆坡转折处存在构造运动,陆架沉积物明显受冰川作用,显现出海洋——冰川——底栖生物三者的作用。

四、意义和展望

中国首次南极考察编队胜利完成了南极考察、建站和南大洋考察任务,于1985年4月10日,平安抵达上海港。“向阳红10”号考察船安全航行26433.7海公里,591名考察队员全部凯旋。无一伤亡。这在南极考察史上是没有先例的。根据历史记载,在通常情况下,考察队员的死亡比例是3%。按照这个数字推算,中国南极考察编队的可能死亡人数将在20人左右。因此,“向阳红10”号船和“J121号”船,都各自准备了一批塑料收尸袋和收尸的冰库。值得欣慰的是,这些收尸袋和收尸冰库都备而未用。

我国南极考察勇士经过142天的艰苦奋战,以最快的速度,在南极洲建立了我国第一个考察站,第一次在南极洲插上鲜艳的五星红旗,第一次开辟了一条通往南极的新航线,第一次用自己研制的通信设备,保证了从北京到南极长达18,000公里的电话通信,创造了我国电信史上无线电短波电话通信距离的最高记录,第一次进入南极圈考察,锻炼和造就了我国第一支南极科学考察队伍。从此我国取得了南极事务的发言权和决策权,意义是极其重大的。

这次南极考察虽然结束了,但极地科学考察事业还要不断深入。我国还要去南极大陆更大规模地建站、考察。对于这次南大洋考察中取得的大量资料、样品和标本,考察队将组织原考察队员和各参加单位,进行整理、分析、鉴定,在1985年下半年内,召开首次南大洋考察研究协调会,对专题进行分工,提出有特色、有水平的研究成果。在1986年的上半年内完成南大洋考察报告、图集、资料汇编三个方面的工作。与此同时,还要进行专题研究。

尼耳斯·玻尔传略——纪念这位 伟大科学家诞辰一百周年

“骅骝开道路，
雕鹗离风尘。”

——杜甫，《书赠鲜于京兆》

戈 革

二十世纪物理学的发展，是人类文明史上值得大书特书的一章。这种发展在许多相当根本的方面改变了人类的生活和思想。我们今天正进入“技术革命”的时代。没有现代物理学的发展，这个时代绝不可能到来。

作为物理学史方面的学习者，我们并不认为历史仅仅是由英雄们创造的。但是，杰出的历史人物总是能够特别鲜明、特别集中地代表他那个时代，这却也是历史辩证法所规定的一个不容否认的事实。在八十多年来的物理学发展过程中，要想挑选出这样的代表人物，恐非爱因斯坦和玻尔莫属。

我们曾于1979年隆重地纪念爱因斯坦诞辰一百周年。值此玻尔诞生一百周年之际，我们也理所当然地要为他举办纪念活动，现特撰写此文，简略介绍玻尔的生平、工作和学术思想，以表示我们对这位伟大科学家的景仰之情。

一、尼耳斯·玻尔的生平

尼耳斯·亨利·大卫·玻尔(Niels Henrik David Bohr)于1885年10月7日生于丹麦首都哥本哈根他外祖父家。他的祖父H. G. C. 玻尔是外省的一位中学校长，父亲C. 玻尔(Christian Bohr, 1855—1911)是一位很有才华的生理学家，从1886年起被聘为哥本哈根大学的教授。尼耳斯的外祖父阿德勒(D. B. Adler)，是一位犹太银行家，曾数次当选为丹麦的众议员和参议员；母亲爱伦(Ellen)性情和顺，举止娴雅，很受孩子们的爱戴和宾客们的尊重。尼耳斯有一个姐姐，小字茵妮(Jenny)；还有一个弟弟，叫哈若德(Harald Bohr, 1887—1951)，此人后来成为杰出的数学家，而且一度是丹麦最有名的足球健将。

C. 玻尔教授思想开明，兴趣广泛。他在大学中结识了几个好朋友，其中包括后来成为

尼耳斯在大学时期的老师的哲学教授赫弗丁 (H. Høffding, 1843—1931) 和物理学教授克里斯先森 (C. Christiansen, 1843—1917)。这些人全都心胸开阔, 不拘小节, 绝不是那种规行矩步的学究式的人物。他们轮流在各人家中定期聚会, 谈论各种学术、社会、政治方面的问题。尼耳斯兄弟从很小的时候起就受到父亲的引导, 接触到各方面的知识, 当他们长大起来时, 他们又获准旁听父辈的议论; 据说这些潜移默化的影响对他们后来的发展起了非常重要的作用。

尼耳斯沉潜渊默, 和善安详; 哈若德聪明颖悟, 才气过人。他们二人友于甚笃, 终生亲密无间。幼年期间, 有人曾以为哈若德更有前途, 但是作父亲的却对尼耳斯寄托了更大的希望。哈若德也对尼耳斯十分钦佩, 当有人夸奖他时, 他常常说: “我算不了什么, 你应该见见我哥哥尼耳斯。”

尼耳斯七岁入小学, 学习成绩相当优异。他在小学和中学中结交了一些朋友, 而且有的人成了他的终生挚友。1903年中学毕业后, 他进了哥本哈根大学的“数学和自然科学系”。这使他有更加发挥他的天赋, 成为当时的天才大学生; 他的成绩远远超出侪辈, 在良师益友的引导切磋下, 为以后的发展打下了广阔深厚的学术基础。

在大学二年级时, 他利用课余时间进行了关于水的表面张力的研究。他自己设计制造了巧妙的装置, 进行了耐心的测量和深入的分析, 写出了长篇论文。这篇论文于1907年春季获得了丹麦皇家科学文学院的金质奖章。当论文的英译本在英国皇家学会的刊物上发表时, 以博学著称的该学会秘书拉摩尔 (J. Larmor) 曾误认尼耳斯是一位“教授”。

尼耳斯于1909年获得哥本哈根大学的科学硕士学位, 于1911年5月间以很有创见的长篇论文《金属电子论的研究》获得该校的哲学博士学位^[1]。随后就得到当地卡尔斯伯基金会的资助, 让他到国外深造一年。他选择了英国剑桥大学, 希望到那里继续研究金属电子论。他于该年9月间到达剑桥, 但是在那里受到了卡文迪许实验室主持人 J. J. 汤姆孙的冷遇。

当时卢瑟福刚刚确证了原子核的存在。玻尔在剑桥失望之余, 就到曼彻斯特去见卢瑟福。卢瑟福对他表示欢迎和关切, 于是他于1912年3月正式离开剑桥来到曼彻斯特, 从此他和卢瑟福建立起了亲如父子的关系。

当刚到曼彻斯特时, 他还不能忘情于金属电子论。他多方联系出版博士论文英译本的问题(未成功), 而且写了一两篇这方面的短文。直到6月间, 他才开始注意起原子结构问题来。这一注意力的转变, 基本上决定了他一生的努力方向。这时他废寝忘食地努力工作。到了7月6日, 他已写好一份呈交卢瑟福的论文提纲, 即所谓《卢瑟福备忘录》。7月底, 他离英回国。8月1日, 和玛格丽特 (Margrethe Nørlund) 结婚。这时他手中已有一份关于粒子散射的论文底稿。

他从1912年9月开始在哥本哈根大学任教, 到1913年初才确定其职称为“讲师 (docent)”, 除了教学工作以外, 仍继续探索原子结构问题。但那时他的理论还不成熟, 在计算中遇到很大的困难。到了1913年2月间, 他在友人的启发下“突然”把注意力转移到原子光谱方面。这次“二月转变”促使他发展了关于原子定态的概念, 同时也使他得到关于定态间的“跃迁”的福念。这些发展大大开阔了他的理论眼界, 他就于同年7月、9月和11月间分三次在英国的《哲学杂志》上发表了那篇划时代的长篇论著, 这篇所谓《伟大的三部曲》奠定了玻尔原子结构理论的基础^[2]。

1914年,他应卢瑟福之聘到曼彻斯特大学任讲师,第一次世界大战也于是年爆发。1916年,玻尔回国任哥本哈根大学理论物理学教授。1918年他发表长篇论文阐述了后来称为“对应原理”的思想。当时他深感需要专门的实验室来促进和验证他的理论,于是他提出了创立研究所的倡议。这个倡议得到了各方面的热情支持。1921年3月3日,研究所正式落成,这就是不久就成为世界著名学术中心的哥本哈根大学理论物理学研究所。

1922年夏,玻尔应邀访问德国的哥廷根,在那里发表七篇演讲,阐述原子光谱理论和分析周期表中各元素的原子结构。这次访问被人们称为“玻尔节”,而他的演讲则被称为“玻尔的节日演出”。他在哥廷根初次认识了当时只有二十一、二岁的海森伯和泡利,立即发现了他们有出众的才能,因而向他们提出了去哥本哈根工作的建议。这件事在物理学界被评为具有历史意义的大事;

1922年底,玻尔获得诺贝尔物理奖。当时他事实上已经成为原子物理学中众望所归的领袖人物。因此有的学者在贺信中表示,虽然诺贝尔奖是科学家的最高荣誉,但是和玻尔的成就相比却是太菲薄了。另一位学者则表示,只有达尔文对生物学的贡献,才能和玻尔对原子科学的贡献相提并论。

我们知道,1924—26年是新量子力学崭露头角和迅速发展的时期。在此期间,可以说玻尔起了“北方司令”的作用^[3]。在短短的两三年内,新量子力学的表述形式基本上已臻完成。但是,关于它的物理诠释,人们却还如堕五里雾中。“这就是玻尔重新出场的时机了。”^[4]1927年9月,在意大利的科莫市召开了一次国际物理学会议。玻尔在会上发表《科莫演讲》,第一次公开阐述了关于量子力学的“互补性观点”。这一观点后来发展成了“互补哲学”,对现代的科学思想和哲学思想产生了极其深远的影响,同时也引起了一些人的反对。为澄清这一问题,爱因斯坦和玻尔曾进行过长期的论战,面到头来基本上谁也没有说服谁。

1929年,玻尔打算邀请几位曾在研究所工作过的外国学者回所讲学,后来这种打算发展成了对老同事的全面邀请。结果就在那年4月8日召开了“第一届哥本哈根会议”^[5],我国的周培源先生参加了那次会议。

从三十年代开始,玻尔一方面继续发展他的互补哲学,一方面带领他的研究所向原子被展开了更集中的攻势。他在三十年代中期创立了第一种相对正确的核模型——液滴模型,对当时的核物理学起了重要的指导作用。重核的裂变被发现以后,他又利用“液滴模型”来说明了裂变的机制和裂变产物的性能。这些工作也大大促进了核能的释放,催生了“原子时代”的诞生。他和惠勒(J. A. Wheeler)在1939年合写的论文,被认为是当时这一方面的最重要的文献。

1937年,玻尔携夫人和次子汉斯(Hans Bohr)到世界各国讲学,中途曾应邀来中国,对我国文化甚为欣赏。

1939年,第二次世界大战爆发。1941年,纳粹势力控制了丹麦。在此前后,英、美、苏等国的友人多次劝他移居国外,并且告诉他有什么要求都可以得到满足,但是他一一谢绝,坚决留在研究所中领导工作。在此以前,他已经作过许多使法西斯怒恼不堪的事;他的母亲是犹太人,按照希特勒的“逻辑”,玻尔全家迟早是消灭的对象;而玻尔在纳粹占领期间又和地下的抗敌组织保持了密切的联系。因此,当时他的处境是十分危险的。到了1943年,他得悉逮捕他的命令已从柏林发出,才不得不在夜间乘渔船逃往瑞典。不久莫国就派

军用飞机把他接到英国。两个月以后，他就带着他的第四子阿格(Aage Bohr)前往美国。

在美国期间，为了反击纳粹，他们父子参与了原子弹的研制。但是，当他还在英国时，就意识到了核武器所将引起的各种问题。他多次上书和约见英、美当局的最大决策者，促使他们早日和苏联取得谅解，但是一直没有成功。战争结束后，他也一直积极参加了争取和平的国际运动。

1945年欧洲战事结束，玻尔于同年8月返回丹麦，继续领导并大大扩建了他的研究所。当时他已七十岁，但还能亲自爬上建筑工地的脚手架去视察工作。

1962年11月18日，他在吃午饭时偶感头痛，于饭后午睡中因心脏病突发而逝世。1965年10月，为了纪念他诞辰八十周年，哥本哈根大学理论物理学研究所改名为尼耳斯·玻尔研究所。

二、对物理学的贡献

尼耳斯·玻尔对待工作刻意求精。他工作起来不分昼夜，有时甚至影响了身体的健康。写一篇论文总要改换几次底稿。有时别人以为满可以了，而他思考了一夜(他叫做“睡在问题上”)以后却决定从头另起。论文排成校样以后，他又在校样上多处删改，校样重排之后他又修改，反复多次，才肯罢手。他的学生罗森菲耳德(L. Rosenfeld)把他的思维比作蚂蚁的触须；一遇到问题，那触须就到处探索，非把问题的任何方面和任何可能性都一遍遍地探索清楚不罢休。这种严格得几乎有点过分的作用影响了他学术论著的“产量”。玻尔作为一个伟大的学者，他的学术论著是相对地少的(例如比爱因斯坦的著作要少得多)。但是，我们却绝不能因此而认为他的贡献较少。事实上，在量子物理学发展中的几个关键时刻，他都起了独一无二的作用。这些作用有的很直接，表现为他亲自动手来解决问题和制定理论；也有些作用不是那么直接，表现为思路的启发和方向的指引；也同样是不容忽视的。因此，要全面仔细地介绍玻尔的成就，就绝不是一两篇文章所能奏效——我们这里只能谈到几个重点。

1. 原子光谱和原子结构 教科书上介绍的玻尔理论已经大大不是它的本来面目，而且有许多评论也是违反历史的。事实上，玻尔有一个宏大的规划，他从一开始就企图弄清各种原子的内部结构和内部运动，并进而说明各种物质的物理性质和化学性质，具体说来，就是要对经验性的元素周期表作出某种自治的理论说明。不仅如此，早在《卢瑟福备忘录》中，他就不但考虑了原子结构而且考虑了分子结构。“三部曲”的总标题《论原子构造和分子构造》更加明确地表明了这一点。这样，摆在他面前的，简直是一个无边无际的新世界，他无论如何是不会甘心只耕耘其中的一小片土地的。

当他撰写博士论文时，玻尔已经知道普朗克和爱因斯坦关于量子论的工作，而且他当时已经超过了一般物理学家的认识，意识到从根本上触动经典理论的必要性。当他开始处理原子结构问题时，他首先遇到的是原子的事实上的稳定性。如果采用卢瑟福的有核原子模型，这种稳定性就和经典的力学及电动力学处于空前尖锐的矛盾之中。这种情况促使玻尔动用了量子假设，初步得到了关于定态的概念。“二月转变”打开了他的眼界，使他越来越重视起原子光谱来。这种光谱的经验规律也是根本无法用经典理论来说明的。这就迫使他联系到爱因斯坦的光量子假说而得到了关于定态之间的跃迁的概念和关于跃迁时所发射或所吸收的辐射的频率条件。我们知道，定态概念和跃迁概念至今仍是一切量子理论的基础。

础，它们丝毫也没有“过时”！

利用他这些当时是崭新的概念，玻尔一步一步地建立了他的原子结构理论。这种理论一出现，立刻就引起了物理学界的极大注意。它基本上正确地解释了许多从来没有顺利解释过的物理事实和化学事实，提出了若干后来得到证实的科学预见，改正了几种当时被人深信不疑的错误认识（匹克灵线系的诠释^[6]等等），触发了大量的簇射式的理论工作和实验工作，大大开拓了二十世纪物理学的广阔疆土，使得人们在微观领域中越来越根本地引用量子概念、越来越激烈地修订经典理论成了水到渠成、一泻千里的不可逆转之势。

玻尔理论一问世，就受到了包括爱因斯坦、金斯（J. H. Jeans）等人在内的热情欢迎。有些人提出了质疑，但是后来在事实面前也改变了看法。有时候，人们说玻尔理论的“成就十分有限”，这话从个别的、具体的方面来看也许不无道理，但从实质的、历史的方面来看却是不对的。玻尔理论的可贵之处在于给我们提供了一种思想、一种眼界和一种新时期已经到来的预告。

让我们听听著名理论物理学家狄拉克的观感吧。狄拉克的沉默寡言，是朋友们最喜爱的话题，而他又是表述量子力学的最引人注意的学者之一；对于微观物理学的发展，他是一个很重要的当事人和过来人。他不止一次地指出，玻尔的理论，是“原子理论中”、是“量子力学的发展过程中”“最大的一步”^[7]。他在回忆当时的情况时说：“我记得在我第一次听到玻尔理论时，我感到非常惊奇，因为以前在整个原子世界笼罩着一种神秘的气氛……当时这个理论打开了我的眼界，使我看到了一个新的世界，一个非常奇妙的世界……我仍然清楚地记得玻尔的这个理论当时给予我多么强烈的印象。”当谈到玻尔那些定态等等的想法时，狄拉克写道：“这确实是物理学家的自然观方面的一些巨大的发展，而且它们也许激烈得不能只被说成克服成见。”

2. 对应原理 认为经典理论是量子理论的极限，这样的想法根本不是什么对应原理！笔者非常不明白，为什么有那么多的人会有这种根本错误的理解。罗森菲耳德自己声明，有一次他和玻尔谈起，瑞利勋爵认识到自己的理论只适用于长波辐射，这可能是对应论证的最初萌芽（即还不是原理本身），这时玻尔立即强调地反对说：“那不是对应论证。关于量子论在低频振模处将趋于经典描述的那种要求，根本不是任何原理。那只是对理论的一种明显的要求。”^[8]事实上，在玻尔的全部著作中，没有任何地方能够作为这种错误认识的借口；相反地，他却不止一次地、十分明确地反驳过那些荒唐的无稽之谈。例如，他写道^[9]：“……对应原理必须被看成一条纯量子论的规律，它一点也不能减轻〔量子〕公设和〔经典〕电动力学理论之间的对立。”假如对应原理居然是某些人所“理解”的那种极限关系，我们在这儿就可以完全不提到它，因为，尽管有人张大其词地把那种关系说成什么吓人的“方法论的原理”，事实上那样的“明显要求”不可能帮助物理学家前进最小的一步。而相反地，正如一位在科学史上功力很深的学者很有见解地指出的^[10]：“从1919年到1925年这段时期内终于导致了量子力学的那种研究工作，可以描写成在对应原理指导下的一种系统的猜想。”这句话，才真正说出了对应原理的性质和作用！

玻尔的早期理论，能够解释最简单原子的光谱的最简单规律，例如氢光谱的巴耳末公式。这种规律是谱线频率之间的经验规律。除了频率以外，各谱线还有自己的强度、偏振和多重性等等的特性；玻尔最初对这些特征是根本不能解释的。为了克服这些和另外一些同样严重的困难，玻尔经过艰苦的探索才终于表述了他的对应原理。这是一条普遍的原理，

完全不受任何频率高低、运动快慢等等条件的限制，它引导人们根据经典的规律来推测量子的规律，而不是把人们从量子领域拉回到经典领域中去。

对应原理的提出，被当时的人们认为是一件大事，它标志着玻尔理论的一个新阶段。在对应原理的表述中，玻尔追随爱因斯坦研究辐射时的作法，在光谱理论中率先引用了几率的概念；只此一端，就足以使我们对玻尔的功绩得到一点初步的印象了。正因为有了对应原理，玻尔关于复杂光谱和复杂原子结构的研究才有了方向可循；他在这方面进行了大量的工作，进行了天才的“猜测”，获得了弥足钦佩的成果。事实上，海森伯矩阵力学的兴起，也在很大程度上是对“对应原理”进行改进和推广的结果。换句话说，矩阵力学可以看成对应原理的一种再表述。而且，对应原理的思想，直到今天还到处在量子力学和量子场论中深深地渗透着，只是人们不再记得这就是对应原理而已。

3. 原子核的液滴模型 前已述及，玻尔在大学二年级时研究过水的表面张力。在这种研究中，他对液滴中各分子的运动得到了系统的理解。大概连他自己也没有想到，青年时努力获得的知识会在三十多年后在别的领域中帮了他的大忙。

1932年，人们发现了中子。以费密为代表的各国有识之士立即想到了用中子来“轰击”原子核的好处。他们作了大量的实验，实现了许多新的核反应。这些中子诱发的核反应无法用简单的势阱理论来把握。这就提出了建立适当的核模型的任务。按照玻尔的学生罗森菲耳德的说法，当时而对着这一任务的物理学家们谁也不象玻尔那样对“液滴”中的运动情况有很深透的了解，因此这个任务注定要由玻尔来解决。这也许说得太肯定了些，不过任务倒确实是由玻尔解决了的。玻尔的另外两个学生则写道^[11]：“很少有一篇论文，象1936年玻尔在哥本哈根科学院发表的演讲那样支配了我们的思维。在它出现以后的十八年中，它曾经对原子核反应的分析起了决定性的作用。”这就是过来人对液滴模型的评价。

当弗里什(O. Frisch)和迈特纳(L. Meitner)在1938年圣诞节期间得到了关于重核裂变的概念时，弗里什就急急忙忙赶回哥本哈根向玻尔汇报。他后来回忆道：“我几乎还没有开始告诉他，他就用手拍着自己的前额喊道：‘噢，我们当了多大的傻子啊！噢，然而这真是妙极了！事情当然应该是这样的！……’”这就是人类释放核能的开端，而当时唯一能够起到理论指导作用的，就是玻尔的液滴模型的理论。

4. 量子力学表述形式的物理诠释 玻尔对量子力学提出的“互补性诠释”或“哥本哈根诠释”，引起了几乎没有先例的学术论战；那种论战在很大程度上是哲学性的，我们现在不谈它。现在要说的是，在本义的物理学领域中，哥本哈根诠释在几十年的时间内直到现在仍然得到绝大多数理论物理学家的承认，而且确实启发了他们的智慧，引导了他们的工作。我们认为，这也是玻尔对物理学的一项不可磨灭的历史贡献，而且他在作出这种贡献的长期努力中是付出了大量的心血的。

5. 建立理论物理学研究所 玻尔在研究所落成典礼上的《致词》中早已叙述了他的设想：他的研究所将不但是一个研究科学的地方，而且还是一个培养人才的地方，他特别强调了青年人的作用。事实证明，他的期望得到了充分的实现，而且我们还可以加上一句：研究所被办成了一个清新愉快、朝气蓬勃、充满生活乐趣的大家庭。在这一方面，哥本哈根研究所可谓极有特色，似乎没有哪一个学术单位能够比得上它。在学术地位上，这个研究所被看成了量子力学的“首都”和“圣地”，而且也成了科学国际化的典型。有人统计，这个研究所在几十年的时间内大约培养了六百多名物理学家，短期来访者不计在内。事实上，

世界上大概找不到任何一个名符其实的理论物理学家不曾直接、间接地受到过来自哥本哈根的鼓舞和启示。

三、互补哲学和哥本哈根学派

1. 互补性思想的起源 一种思想的“起源”，可以有两种不同的理解：一种是历史上的起源，例如把今天的原子概念追溯到古希腊；另一种是指在单独一个思想家心中的萌芽和成长。这两种“起源”都大有探讨的余地，而且确实有人作了不少的工作。我们今天只略谈后一种。

在这个问题上最有权威的大概要算罗森菲耳德。他是玻尔的得意门人，被雅默尔(M. Jammer)称为哥本哈根学派的“主要发言人”。罗森菲耳德指出，玻尔的互补性思想可以追溯到他年轻时从他父亲那里听到的关于生物学中“机械论”和“活力论(或目的论)”的争论；另外，他在少年时期接触过的一些丹麦思想家的小说，也对他起了潜移默化的作用。据说，玻尔在1927年提出了量子力学的互补性诠释以后，有一次曾经力图向几个朋友阐述他的一般观点。说了一阵以后，有一个朋友淡淡地说：“但是，尼耳斯，这些话你在十年以前就对我们说过了。”

当玻尔还是一个大学生时，他在1910年6月26日给他弟弟的信^[13]中谈到他当时有几件可喜的事，但是他不知道其中哪一件事使他最为高兴，于是他写道：“……也许，唯一的答案就是，感觉也象认识一样，必须排列在一些不能互相比较的平面上。”下而即将谈到，他后来时常用这一类的说法来表达他的关于互补性的思想，这种说法在他还没有开始关心原子结构时就已出现了。

2. 互补性观点的提出 1927年9月，为了纪念伏打逝世一百周年，在意大利的科莫市(伏打生于该市且歿于该市)召开了一次国际物理学会议，出席会议的都是当时的第一流物理学家。在9月16日的会上，玻尔以《量子公设和原子理论的最近发展》为题发表了演讲，史称《科莫演讲》^[14]。在这篇演讲中，他有3次用到名词“互补性(complementarity)”，有15次用到形容词“互补的(complementary)”。他指出，在经典理论中，人们惯于在空间和时间中进行严格因果性的描述，这是一种理想化；在量子理论中，由于作用量子 h 不是无限小，从而观察仪器将对观察对象发生一种非无限小的、不可控制的相互作用，这就使得客体的态这一概念和对客体的观察这一概念不能同时严格地成立，从而时空描述和因果描述(用守恒定律来表示)也不能同时应用——它们有如“尹邢之避面”，成了“鱼与熊掌不可得兼”的关系；在这种意义上，它们是互斥的。但是，我们却不能在任何情况下都“舍鱼而取熊掌”，而是必须按照目的(或要求，或志趣)的不同而有时“取鱼”，有时“取熊掌”；只有这样，我们才能对事物或现象得到真正全面的认识；在这种意义上，互斥的概念或描述方式又是互补的。在微观领域中，任何现象、任何事物都有这样互斥面又互补的一些方面；这就是玻尔的互补性概念的大致含意。他从这种想法出发，引申出了许多说法，对量子力学中的各种“不合理”的(应读作“非经典的”)局势作出了合理的(即自洽的，逻辑上无懈可击的)诠释。

最初，《科莫演讲》中的这种观点并没有引起人们多大的注意。但是后来却很快地在物理学领域中和哲学领域中掀起了轩然大波。随着爱因斯坦-玻尔论战的正式展开，随着互补性观点被一步步地推广到物理学领域以外，这种观点已经不仅仅是微观物理学中的一个观

点，甚至也不仅仅能叫做“观点”而却变成了一种“互补哲学”。

3. 互补哲学 玻尔是一个谦逊的学者，他不愿意把自己的发现妄自尊大地称之为“原理”，他更喜欢用“观点”、“论证”之类的字眼，而他的弟子们和同情者们也基本上尊重了他这种态度。因此，除了在苏联和我国以外，“互补原理”这个名词在物理学文献和哲学文献中出现得并不那么频繁。例如，在“主要发言人”罗森菲耳德的著作中，几乎无例外地使用了“互补性”而不是“互补原理”，甚至我们所说的“互补哲学”，他也是用“互补性”一词来代替的。

玻尔的父亲是生理学家。玻尔从少年时起就听到过许多生物学和心理学方面的问题和议论；在哲学方面，他曾经很欣赏斯宾诺莎的心理-肉体平行论（旧译“心理-物理平行论”，恐误）。此外，当超出于物理科学的领域以外时，首先遇到的科学领域当然也是生物学。因此，玻尔很快地把他的观点推广到生命科学的领域中去也是完全自然的。他指出，在生命科学中，生命本身就是一个最原始的不能进一步分析或分割的概念；它在生命科学中所处的地位，相当于作用量子在量子物理学中所处的地位。如果我们研究某一生物客体，要把它研究到能够确定哪些原子属于或不属于该生物个体的地步，那么我们必将害死这个生物，即必将破坏生命而超出于生命科学之外。因此他就认为，在这种意义上，生物学中的“机械论”和“活力论”是互补的，是不可完全偏废的。

接着他又考虑心理学。在这里，他年轻时读的一本小说对他起了启发作用。他认为，正如对微观客体的观察（测量）一般会改变客体的态那样，我们对自己的心理状态的内省也将改变那种心理状态。如此等等。

玻尔还把他的观点推广到了社会科学。他认为，不同民族的风俗和传统，例如男人和女人在社会中所起的作用，往往是恰好相反的，但是这些风俗和传统却又各自有它的长处，其中任何一种都有它存在的权利，因此可以说不同的传统是互补的。由此他进而考虑一般的概念。他认为，每一个概念都有许多层次不同的意义，就象复变函数论中的多值函数一样。一个多值函数的多重值，可以安排在黎曼复平面的不同叶而上；这些不同的值不能同时应用，从而它们是互斥的；但是，去掉其中任何一个值，其余那些值就不能完满地代表所考虑的那个函数，从而这些不同的值又是互补的。同样，任何一个概念的不同含意，可以被想象为安排在不同的“客观性（或目的性）平面（planes of objectivity）”上。当讨论或思考问题时，我们必须时刻注意不要从一个平面滑到另一个平面上去。玻尔很喜欢用这种方式来表达他的想法。很显然，这些关于“平面”的论述，可以直接追溯他在几十年前写给他弟弟的那封信。在他逝世以后，人们在他工作室的黑板上发现了两幅草图，一幅是黎曼复平面的示意图，而另一幅是爱因斯坦“光子盒”的示意图。因此，罗森菲耳德就写道^[16]：“命运之神就这样通过玻尔自己的手，给了我们仿佛是他关于互补性的思想的起点和终点的一种象征性的纪录。”

玻尔在谈论各种问题时，常常谈到主观和客观或主体和客体的关系；在这方面，他发表了不少言论，总之是要论证二者之间存在的是互补关系。

4. 玻尔的风格 玻尔的哲学老师赫弗丁教导他，要重视问题更甚于重视“体系”，“体系有兴衰，问题却常在。”玻尔一生，模范地贯彻了这种主张。他的学术著作几乎没有一篇是那种“公理化”的文章（和别人合写的文章稍有例外）。他的绝大多数文章都是夹叙夹议，喷薄而出。他从来不肯把自己的假设、推理、结论等等压缩成一些供人背诵的“条文”。

貌似条文的东西到了下一篇文章中往往会有或多或少的改变，从而也就不成其为真正不变的“条文”了。他的思想好似行云流水，永远不停顿，永远不凝固。这种风格也给人们造成一些苦恼，使人们觉得他的思想很不容易把握，甚至说他的某些阐述是“诡辩”。

互补性这一概念是玻尔哲学的基础。但是尽管如此，他还是不肯对它作出任何稍微普遍的、类似“条文”的表述。他满足于分析各种情况，然后指出“互补性”的所在。因此，罗森菲耳德说，玻尔是满足于通过举例来教人的。

5. 所谓“哥本哈根学派” 这也是别人加在玻尔他们头上的一个称号，一个“集体名词”，他们自己一般是不这样称呼的，而且往往是对这种称呼有些反感的。相反地，那些创造和推行这个名词的人们往往有点“不怀好意”，就是说，他们的动机是要“批判”这个“学派”。在西方国家，一般的科学哲学方面的文章中用得比较多的是“哥本哈根观点”和“哥本哈根诠释”，而“哥本哈根学派”一词却用得不是象人们想象的那么多。

就笔者个人所知，似乎还不曾有哪一个人或哪一本书给“哥本哈根学派”下过一个明确的定义。

笔者以为，如果我们承认确实存在一个“哥本哈根学派”的话，那就应该把它主要理解为一个哲学上的流派，固不是理解为一个物理学上的流派。因此，判断某一个人是否属于这一流派，主要就要看他的基本哲学观点如何，而不必看他是否曾在哥本哈根长久居住或对象。和玻尔关系很密切。例如，玻尔的女秘书为玻尔工作多年，但是她肯定不是“批判”的是否相反地，玻尔并不曾在丹麦住过多久，海森伯后来和玻尔很有隔阂，但是他们二人一般被看成哥本哈根学派的成员。另外，判断一个人的“派籍”也不以他的物理学观点为准。例如，大概没有哪一个物理学家不在当时的历史条件下承认和赞赏对应原理（包括爱因斯坦在内），但是他们并不全都是哥本哈根学派。因此，那种认为对应原理是“哥本哈根学派的重要观点”的说法，显然是一种严重的误解！

不过，前面说过，玻尔他们并不以一个“学派”相号召。他们有完全的自由，谁爱怎样想，就怎样想。因此，在他们内部，观点也并不完全一致甚至相差甚大。例如，“主要发言人”罗森菲耳德至少是按照他那种理解而相信辩证法和唯物论的，他判定海森伯是一个唯心论者，但恼认为海森伯相信互补哲学而且对互补哲学的创立很有功劳。这样一来就更加麻烦了。在我们看来，唯物与唯心之争似乎是判断哲学流派的主要依据，而在他们看来则是否相信互补哲学才是主要依据。既然“主要发言人”如是说，而且学术界似乎基本上是不知不觉地同意了他的判据的，我们也可以按照这种办法来谈谈这个问题。

我们只能“求同存异”，找出这一学派的共同观点。笔者个人认为，这些观点大致如下：（1）在量子理论中，他们全都承认波函数的几率诠释（即玻恩型的正统诠释），即认为波函数是描述单个体系的，而不是描述系综的；但是，在这种情况下，如何理解几率概念本身，就是一个很大的问题，这个问题我们无法在此详述；（2）他们至少是部分地相信玻尔关于“观察”或“测量”的看法，具体说来，他们相信观测本身会对观测对象发生“不可控制的”影响；（3）他们全都相信海森伯的测不准原理，但是对于这一原理的理解，例如这一原理和波粒二象性的关系等等，却又并不完全相同；（4）他们全都相信玻尔的互补性观点，认为“互补性”是“因果性”的推广，并认为“因果性”或“经典的因果性”在微观领域中是不成立的；（5）此外，他们在主观和客观的关系、人类的认识有没有“终极界限”、理论的作用等等问题上，也各自发表了一些颇有特点的看法。

四、尾 声

关于玻尔，可介绍的内容不一而足，现在请允许我再补充几点。

第一，玻尔是一个伟大的人道主义者。他在别人还对希特勒抱着极大的幻想时就坚决地反对希特勒。希特勒刚一上台，他就和他弟弟等人在丹麦组织了“支持流亡知识分子委员会”，并亲自前往德国安排知识分子的出走。第二次世界大战期间，他比别人更深切地意识到纳粹的反动性，采取了坚决斗争的态度。在对待原子武器方面，他积极进行了关于国际合作的宣传。大战结束以后，他更加努力地参加了群众性的国际和平运动。尽管遇到许多困难，他对人类前途却一直抱有光明的乐观态度。他发表了致联合国的《公开信》，呼吁大家努力来造成一个“开放的世界”。

第二，玻尔一生获得了许多崇高的荣誉，他曾获得许多著名大学的荣誉学位，是许多著名学术团体的成员，三十二岁时就当选为丹麦科学院的院士，五十四岁时当选为该科学院的院长，并打破惯例连任多届。

第三，他为人谦和，待人诚恳。凡是和他接触过的人，大都对他印象很好。青年人尊敬他，而且爱戴他。甚至大战期间负责保护他的情报人员也和他相处得很好。他曾说那些人“也不是那么没有人性”。苏联物理学家朗道，也许是物理学家中最难对付的一个人，但他终生自称是玻尔的学生。按照弗里什的说法，哥本哈根研究所中有许多“怪人”，他们有的睡眼朦胧，衣衫不整；有的言语犀利，不留情面；有的打打闹闹，满不在乎——但是他们全都才智过人，全都作出了出色的工作，而且全都对玻尔怀有非比寻常的情感。最后，让我还是引用罗森菲耳德的一段话来结束我们的介绍：

“感谢玻尔，他使我们的科学视野和哲学视野得到了惊人的扩展，他给我们提出了更丰富、更和谐的世界观，提出了使科学的疆域更加广阔、使科学的呼声更有人性的科学功能观。但是，对于我们这些曾经认识他的人们来说，他所赠予的最宝贵的礼物却是一个光辉的典范——如此热心地献身于真理、如此充满着智慧和人性的一生。他的姓名写在史册上，和牛顿及爱因斯坦的姓名相并列；他在我们的心中占据着那些最亲爱的人们的位置。”

- [1] Bohr N., *Collected Works*, Rosenfeld 等编, North Holland Pub. Co., Vol. 1, pp. 167—395; 戈革,《自然科学史研究》,1卷3(1982)220。
[2] 同上书, Vol. 1, pp. 159—233; 戈革,《华东石油学院学报》1984年物理学史增刊,第2—16页。
[3] 戈革,同上刊第46—80页。
[4] 同注[1]书, Vol. 1, 第XXXVII页。
[5] Cohen R. & Stachel J., 编, *Selected Papers of Leon Rosenfeld*, D. Reidel Pub. Co., 1979, pp. 303—312。
[6] 黄纪华 同注[2]刊,第30—36页。
[7] Mehra, J. 编, *The Physicist's Conception of Nature* D. Reidel Pub. Co., 1973, p. 4; 狄拉克,《物理学的方向》,科学出版社,1981,第2—3页。

- [8] 同注[5]书, p. 690。
[9] 同注[1]书, Vol. 1, p. 479小注。
[10] B. L. Van Der Waerden 编 *Sources of Quantum Mechanics* North-Holland Pub. Co., p. 8。
[11] Pauli W. 编 *Niels Bohr and the Development of Physics*, McGraw-Hill Co., 1955, p. 134。
[12] Frisch O. R., *What Little I Remember*, Cambridge University Press, 1979, p. 116。
[13] 同注[1]书, Vol. 1, p. 513。
[14] N.玻尔,《原子论和自然的描述》,商务印书馆,1964,第39—66页。
[15] 同注[5]书, p. 534。
[16] 同注[5]书, p. 535。