

中国科学院綜合考察委員会資料

編 号: 00696

密 級:

綜合

中国科学院綜合考察委員会办公室編印

195 年 月

中国科学院第一次学术报告会文件

沙漠地区铁路的勘测与设计

赵性存（铁道部第一设计院）

前 言

沙漠在我国西北和内蒙地区分佈很广。因而在新建铁路勘测时经常遇到。如包兰线在宁夏中红地区；乾（壕）武（威）线在甘肃大祝县境；太（原）中（征）线在陕北靖边一带；石（咀山）兰（津）线在内蒙古阿拉善旗，兰新线在新疆艾比湖区和南疆线沿塔里木盆地边缘等。勘测线通过不同类型的沙漠。

在沙漠地区修筑铁路，对我国铁路人员来说，是一个新的课题。解放以来，在党的正确领导和苏联专家的热情帮助下，对沙漠地区的勘测设计方面初步获得了一些经验；试验研究方面，从1954年起，我院与有关单位密切配合，先后成立了包兰线中红铁路防砂研究工作站、兰新线精河以及乾武线元莊子沙漠观测站。进行了气象要素、沙丘移动、固沙造林和沙漠路基的观测研究工作，也取得了宝贵的成果。特别是包兰线沙漠路基于1958年“八一”建成通车，在铁路修筑史上写下了新的一页。为发展我国西北地区交通运输事业作出了良好的开端。

为了大力开发广大沙漠丰富的物资资源，並求得迅速改变沙漠地区的交通面貌，今后将有更多的铁路需要通过沙漠地区。对我们来说，仍然是一项艰巨而复杂的任务。因此及时总结

已有经验，来指导今后红胶区的铁路勘测工作，具有极其重要的意义。

固砂造林，是铁路防砂的根本措施，也是一项复杂和细致的工作，必须与铁路修筑密切配合、相辅而成，不可有脱节现象，这是我们在修筑中红胶区铁路的过程中取得的结论。因此对固砂造林的勘测设计和施工也作了简略的介绍。

总而言之，沙漠筑路是一项综合性复杂性的问题，需要铁路勘测人员具备有关这方面的广泛知识，才能正确的评价沙漠铁路的特点和选择经济合理的防砂措施。

在编写过程中作者利用了我院几年来所有沙漠铁路勘测设计和试验研究的材料、参考了丰富的文献资料，特别是中国科学院治沙队的综合研究成果。在某种意义上来说，本文是我国解放以来在治沙方面有关生产活动和科学研究的书面汇报。

我国沙漠筑路一开始就得以顺利的成功和取得若干成绩，是和苏联专家的热情帮助分不开的，作者因工作关系，在学习过程中得到帮助和提高，因而本文又可以说是向专家学习的一篇心得。

必须指出，沙漠筑路在我国时间尚短，经验不足，应该说现有这些经验也还是初步的和不够成熟的。由于个人政治水平和业务水平低，对我国广大沙漠了解也不全面，许多理论性的问题，研究的不深不透，因此在总结过程中难免有错误的地方，希望读者提出指正，以求逐步臻于完善。固砂造林一章是和宝山工程师两人合作，主要是根据 A. K. 阿弗于专家谈话记录编写的。赵锦斌、张家毅、陈登湧同志参加了部份资料整理工作，专业设计院供给了砂丘典型概略照片，作者在此谨向他们敬致谢忱。

沙漠地区铁路的勘测与选线

(一) 沙漠地区的勘测工作

沙漠地区铁路勘测工作、除符合铁路一般要求外、还应根据沙漠的特点、进行以下工作：

1. 查明沙漠的分布范围及形成条件。

(1) 查明沙漠的分布范围、是选择线路方案的先决条件、最好利用航空勘察。根据航测照片、对沙漠分布及其形态可一览无余、这样不但能减少地面调查的困难和加快勘测的速度、而且可以选择最好的线路方向。如：石兰山至额济纳线，穿过腾格里和巴丹吉林沙漠、在这样荒无人烟的沙漠中、要进行大面积的踏勘选线工作、其困难情况是难以想像的。1958年我们采用航空勘察，一方面使线路避开了严重的流沙地段、改善了技术条件、同时在很短的时间内完成了艰巨的勘测任务、是值得今后大力推广的。航空勘察在我国刚刚开展起来、积累的经验不多、现将沙漠地区航测几点体会介绍于后：

A. 由于沙漠中地貌单调、因此时必须注意细小的地貌变化、这对分析沙漠特征有着重要的意义。

B. 当线路横过大片沙漠时、要沿次丘依横断面飞行、以便选择最窄、最有利的沙区通过。

C. 航测时航高不要超过2000米、航速要小于300公里/小时、必要时作盘旋飞行、否则沙漠中细小特征、均难一一入目。

D. 由于沙漠中缺乏水标、居民点及明显的目标、航线不易控制、容易发生偏航现象、事先应作试航。

(2) 弄清沙漠形成条件(砂的来源)、具有重要的实践意义

义，只有弄清了当地沙漠的成因，才能对路线防护措施提出正确的评价。如沙漠的形成是由当地砂质沉积物经风力吹扬的结果，则治砂的主要措施应该是切断当地的砂源，和切断主风与当地砂粒的联系。研究沙漠的成因是一个十分复杂的问题，需从以下几方面入手。第一，分析沙漠周围的自然条件：如气候特征、基岩风化程度、现代或古代水文网分布情况和周围地形变化等。第二，查明有无风蚀洼地和风蚀墩台并测量其形态。第三，进行室内分析：包括机械分析、矿物分析和砂粒表面特征的观察。上面提出的每一项目，只是反应沙漠成因的一组线索，而不是唯一的，必须进行全面的和综合的分析，才能得出正确的答案。

2. 砂丘的形态测量：

在路线勘察中如定位观察时，可以选择具有代表性的典型砂丘进行形态测量，其测量内容如下：

- (1) 砂丘的高度（最大、最小和平均的）。
- (2) 砂丘的相互间距（最大、最小和平均的）。
- (3) 迎风坡背风坡的长度和坡度。
- (4) 砂丘的走向及长度。

根据以上项目，一方面可用来说明砂丘的起伏大小和疏密程度，藉以分析砂丘移动速度和配置人工防护措施。包括类型、尺寸材料等，同时还能反应当地气流情况，因为根据砂丘走向可以推测该地的主导风向（因主风与横向砂丘相垂直）。

3. 蒐集区域的气象资料：

如气温、湿度、降水、蒸发、风向风速、大风日数及能见度等气象要素、包括它们的均值、极值和频率、作为路基设计与固砂造林评价的依据、特别要研究风的资料、勘测过程中地质人员可帮手携风速仪随时记录风的状况、（北京出产的索钟

牌标式风速风向仪，能直接读出单位时间内的风向风速，使用极为简便）。如当地无气象站时可商请气象局设立，色兰、兰新和轮武线通过改漠地段，均由当地气象局负责气象观测工作，为我们提供了重要的设计资料。

4. 改丘移动观测：

改丘移动情况，除访问当地居民和牧居外，一般应进行定位观测。下面介绍两种测定改丘移动的方法。

(1) 等高线测绘法：选择有代表性的改丘（长宽约200~500米，比例尺1:200~1:500），半年或一年测量一次，根据前后等高线变化，即可了解当地改丘移动情况。中工铁路沿改研究站依据1955年到1957年的测绘资料，进行了下列整理分析工作：

A. 首先从1955年12月~1957年12月历次所测绘的等高线图中选定与主导风向一致的横断面（如盆15下），根据各断面上等高线历次的变化幅度绘制成曲线图（盆15上），从图上给我们指出以下几点：

(A) 改丘的移动是原往复前进式的；当春夏季与主导风向相反的风占优势时，改丘呈后退状（如1956年2月）；但就全年来说，改丘仍前进了一定距离。如盆左边1338的等高线在56年11月比55年12月前进了1米；而57年又推进了0.5米。说明改丘移动并不很大。

(B) 同一改丘上摆动的幅度是随改丘各个部位而转移，即普遍存在着低处变化小、高处变化大；平缓处变化大，急陡处变化小。如盆右边改丘顶1342~1343等高线摆动幅度达8米；但是低处1335等高线却只摆动0.5米。这就意味着改丘顶部如不先采取设置人工机械故障、则造林将很困难的。在该部位设置人工的故障时也应予以特别加强。

(C) 在同一时期内等高线会存在着后退与前进的两种相互矛盾情况，这种现象我们将在下面加以阐述。

B. 从1955年，1956年，及1957年三年的等高线测绘过程中，还具有下列几点普通现象；（参图查6）：

第一，丘间洼地高线向四周扩展，这是由于低地气压高，产生局部涡流，由中心四周运动，将沙子推向高处的结果。应当指出，等高线的变化，又随当地风的状况及周围地形起伏而异。查由A中1348公尺等高线，二年内向东南移动距离为14公尺，向西南为8.5公尺，向东北为7.5公尺，都是各相同的。

第二，舌形沙丘及相邻洼地，等高线呈前伸后退状，因为沙舌向前移动为正地形，洼地沙子被风吹走成负地形，故等高线既向前伸又得后退。如查165中1350公尺高线在两年内在A处向前移动5.5公尺；在B处后退13.8公尺。

第三，空旷平坦沙地，等高线成环状向前伸展，如查16B因西北位于高沙丘之背风坡，故移动慢，前缘因系平坦沙地，则移动快。1335公尺等高线，1956年内向东南移动4.5公尺，1957年内向东南移动7公尺。

根据上述沙丘各部位移动情况，为固砂造林设计及设置半稳散式格状砂障提供了重要资料。

等高线测绘法能较全面的了解当地沙丘微动速度和吹集吹散程度，唯测绘工作量大，并且质量要求高，需要一定的人力与仪器。

(2) 横断面测量法：选定不同高度之砂丘，在脊线及坡脚处垂直砂丘走向埋立测杆，（杆长2米，埋入和露出各半）每日定期测量一二次量出砂丘脊线以坡脚距测杆距离，即可代表砂丘移动速度，如当地砂丘分布稀落和互不毗连时，量出坡脚距测杆距离即可。兰新线砂泉子沙漠观测站就是采用这种方法

；反之，当砂丘密集，互相重叠时，坡脚移动不明显，则可根据砂脊移动距离，但有时坡脚移动很少，脊线却随不同风向来回摆动，这种情况在高大砂丘表现最明显，那是因为丘顶风力较大所致。中正铁路防砂站在夏季见到砂丘迎风坡上部有粗的落砂坡（图7），也是丘顶局部移动现象。因此，分析砂丘移动时，必须结合一年中风的周期性来考虑，并分别说明坡脚与脊线的不同移动情况。横断面法，测量方法简单，能了解各月砂丘移动特征，但只能代表单了砂丘移动情况，不能等高线法能进行全面分析。

总之，两种方法各有特点，在有条件的地方最好都能采用。

5、砂的理化性质

砂的理化性质，对固砂措施有着重要意义，如：砂的机械组成，直接影响着固砂造林的难易，砂粒愈细，过滤性小，则肥沃性愈高，此外，砂的大小，又与含水量的多少有关。又如：砂的矿物成份对植物生长有关，全为石英砂则植物生长困难，含有大量灰石砂则植物生长较易，因此在勘测过程中，要采取沙样试验其机械组成矿物成份，容重，比重，空隙率，内摩擦角，PH值， N ， P_2O_5 ， K_2O 以有机质含量等，作为路基防护及固砂造林的参考。

其中水份测定取样工作较为繁重，须在砂丘的迎风坡，背风坡及窪地分别取样，深度为2~3米，从0~1米，每隔20厘米取样一次；1~3米，每隔40厘米取样一次。为了了解一年中砂层含水量的变化，最好在不同季节分别取样试验。砂中挖坑容易坍塌，可用小型的占（图18），先将干砂层清除，用占向下旋转，即可取出下西湿砂，操作十分简便。

6、地下水勘探

沙漠地区因缺少地表水流，沿线机车，工程，生活用水十分缺乏，因此寻找地下水流显得十分重要，

过去认为沙漠中是没有地下水的，经过近两年水文地质勘察，不但在下伏的干河床，冲积层中找到淡水，个别沙漠地区还可找到局部淡水透镜体，可作为铁路用水水源，所以沙漠中水文地质调查，应当特别注意与地下水生成条件密切相关的地貌与第四纪地质研究，并进行少量勘探工作，以便确定地下水的埋深深度和取水样作水质分析，地下水的品质水量不但与工程及生活用水有关，对植物固砂有着更重要的意义，一般来讲，如果地下水位埋深很深，则对植物的影响很少；如果地下水分布较浅而为植物根系所吸收，那么就能大大改善植物的生长条件。

7. 防沙材料调查

沙漠防沙材料，需要量很大，在工程费中占很大比例，勘测时必须详细调查沿线卵石，碎石，粘土，草类树枝等材料的生产地，数量以运输条件。沙漠下伏地层多属古代河流湖泊沉积物，冲积洪积物，可以进行少量勘探了解有无粘土及碎石土垠并，以达到就地取材，减少运输，乾武线在初测阶段，成立了防沙材料调查队进行这一工作，获得良好的效果。

8. 植物调查：

植物是固定流砂最根本的因素，因此研究砂地植物就成另一个相当重要的问题，在勘测时要调查沿线植物生长情况，提出固砂造林的评价，固砂造林是一个新的专业，必须邀请植物及林业人员参加，详细方法见固砂造林一章。

9. 访问群众沿砂经验：

我国砂人民有着丰富的沿砂经验，我们在勘测过程中应加以访问和总结，作为沙漠地区修路的借镜，列举二、三事例说明如下：

(1) 内蒙磴口砂人民在行水灌砂过程中，一方面利用沙障修筑堤的中心线，豎立一排立式砂障，砂子在砂障附近逐渐

形成一通砂渠，利用提高砂障，可以使砂渠达到需要的高度。同时还利用立砂障来削平沙丘。即在砂障的下缘与沙丘留有空隙，使之产生高速气流（如图 19），即可使沙丘快速削平，在沙漠中修筑路基时，为了降低工程成本，亦可利用风力来填筑路基和开挖路堑。

(2) 乾武线及磴口一带当地居民，修筑壕埂来阻挡流砂侵袭农田，收到很好的效果，其方法是沿田地边缘挖掘土壤，壕的方向与主风垂直，随挖随将挖出的土堆于迎风面，加以拍实，即形成土埂，土埂高度一般为 0.5 米。作者认为在沙漠边缘修筑铁路时，也可以采用这种防砂方法。此外还应调查砂区已有建筑物的防砂措施，包括公路渠道及居民点等。

10. 地质平剖面图的测绘问题

(1) 平剖面图的测绘：在流砂严重地区要进行大面积的测绘，以便选择最有利的地段通过。最好将沙漠按固定，半固定和流动的分类，用颜色在平剖面图上表示出来，乾武线勘测时采用这一方法，对定线时有很大帮助。在图上还要绘出主导风向以流动沙丘的脊线，以便了解沙丘移动情况。

(2) 横断面测绘：应选择砂区内最有代表性的地点进行，以便能绘制反映地形特点，地下水深度以及植物分布情况的横断面（图 20）。布置横断面时要与沙丘走向垂直，其宽度至少要包括 2~3 列沙丘，以便较全面地了解沙丘的相互间距，高度等情况。

在工程地质勘测时，这些问题阐明的详细程度应当符合于相应的勘测阶段，例如在初步设计勘测阶段，勘测资料应该保证能够对沙漠方案作出全面的評價，能有根据地选择较有利的方案；以及阐明防砂措施的初步意见；在施工设计勘测阶段，对已定线路，应该有明确决定工程地质条件和保证铁路防砂的最

后設計。

(二) 沙漠地区的选线

沙漠地区修筑铁路，是一件困难而复杂的工作，根据苏联数十年的实践证明，可以得出下列结论：

第一，在流砂上修筑铁路，不能单独考虑初期工程投资，凡西的经济观点和机械数字比较，忽略其他因素，最终在时间和投资上，仍会造成损失。因为许多费用（如人工防护、机车磨损耗和施工条件）都是事先难以完全估计的。

第二，在营运初期，防砂工作十分艰巨，机械防护要不断维修与养护，在大风季节还不能完全保证列车安全和不间断运行。

第三，永久固砂要依靠植物，但营造防砂林带需要较长的时间，在自然条件极端困难时，往往得不到预期的效果。

包兰线是我国第一条通过大沙漠的铁路，自一九五八年“八一”通车以来，虽然运营情况良好，但在施工和运营期间，对防砂工作仍付出了巨大的人力与物力。例如包兰线中卫工务段的资料，一九五九年一到八月清除积砂就耗资5900工天，在春季大风期间曾发生两次停车事故。根据以上意见，并不意味着沙漠地区不能修筑铁路，而是告诉我们在勘测过程中要慎重考虑和比较，才能得到最安全和经济的线路方案，关于沙漠选线原则，我们还缺乏研究，只能将几年来我们在砂区选线的几点体会作些介绍：

1. 在线路绕弯不多和初期建筑费增加有限时，应尽可能避免严重流砂地段，这对整个施工运营条件来说，还是合理的。例如包兰线在三道坎至三盛公段，由于曲线（黄河以西）通过三布和沙漠，长达25公里，这里风力较强，砂丘移动快，公路电杆都遭砂埋，施工条件困难，最后增设两座黄河大桥

，未用河东方案，避开了严重流砂地段。又如：石咀山临泽线，在吉兰泰至雅不赖盐池间，由于直穿方案经过六七十公里的高大流砂，初测采用了沿雅不赖大山麓方案，虽线路绕长20余公里，但只穿过十八公里高大砂丘，不及前者的三分之一，且山麓地带大量的石防护材料，接近居民点，施工运营条件均较优越，应该说以上方案的取舍是正确的。（由于黄河春季冰凌，使铁路桥梁受到一定威胁，也有人对色三线三三段河东方案持有不同意见。）

2、如沙漠地段不能连续，或避绕时在经济上显得不合理，也应尽可能将线路敷设在河、湖岸，固定及半固定砂地，以减少流砂威胁，色兰铁路在中卫地区通过腾格里沙漠，长达16公里，这是由于过河方案，不但工程费贵，而且技术条件差（需要采用20‰双机牵引坡度），不得不采用沙漠方案，定线时有意识的增长了公里数，使紧贴黄河左岸，通过沙漠的背风带。由于砂丘移动性不大，故通车以来，情况尚属良好。乾武线通过腾格里沙漠的西南缘，这里流动砂丘与固定砂丘穿插分布，定线时根据这一特点，力求在长有植物的砂地上定线，大大的减少了路基防护及固砂造林的费用。

3、尽可能利用风蚀窪地及古河床来敷设线路，因为沿古河床定线，不但坡度平缓，土方工程小，更重要的是接近地下水，大大的改善了固砂造林条件，河西堡至雅不赖线通过八卦沙漠时，有一段线路就是沿着古河床走。古河床常具有阶地状或槽形的外观和不同的地层结构，即其下部由粗颗（砂或砾石）组成，上部则为细颗粒（亚粘土亚砂土）组成，前者为动水条件下的沿积，后者是河流消失后在静水环境下的沿积，可根据野外地质勘测确定之。关于利用风蚀窪地定线问题，个别勘测人员抱有怀疑的态度，认为低处筑路最易积砂，事实上这是一

种误解，根据风砂移动规律，它是由低处吹蚀堆向高处的，就工程措施来说，防止砂子吹蚀较防止砂子堆集容易得多，所以我们要充份利用沙漠中之丘间窪地来进行选线。应该说明，假若沙漠中窪地或古河床，当夏季暴雨有临时积水时，（在大山边缘的沙漠中，经常有这种现象）定线时就不要直穿，以免砂筑路堤浸水后，突然发生液化，影响行车安全。

4、在丰固定与流动砂丘地区设计铁路时，最好使线路与当地主导风向相平行，但也有人认为线路与风向垂直好，根据亲身体会，认为前者是正确的，因为线路与主风垂直时，横向切断了整个移动的砂子，砂被阻于线路的一侧，我们要阻挡这样大量的砂子移动，将是十分困难的，反之，线路与主风平行时，则流砂威胁被限制路基两侧狭长地带，大部份砂子顺主导风从路基旁吹走，防止砂害就容易得多。从吹蚀程度来说也是一样，线路与主风垂直，则路基承受全部风力，如果是锐角或接近平时，则只是承受风力的一个分力，风蚀程度将显著减轻，中卫铁路防砂站观测证明，当风力大致相同时，如风向与线路垂直，则路基附近积砂较多，如风向与线路平行，则积砂现象就轻微得多。

5、沙漠地区运输和人力都很困难，选线时应力求使线路接近防护材料产地，以达到就地取材，减少工程投资。

6、车站为旅客上下及运营人员工作场所，因此应尽量设在流砂较少的地区，站房住宅和其他建筑物都只能修筑在背风

的一側，以免引起积砂。

7、纵断面設計問題：根据中卫铁路防砂站的研究，认为不填不挖最易积砂，应力求避免，这是大家公认的。至于路堤好抑路堑好，也有不同的看法。作者同意路堤较路堑好的说法，因为路堑在有强烈风砂流时，由于风向变化及涡流作用，砂子即落于路堑边坡上，逐渐积累，形成砂害，路堑积砂后必需用人力清除，工作十分繁重。如为路堤大风时砂粒虽可沿坡面到达路基面，但可惜枕木间风洞吹到路基的另一侧；此外，坡面积砂常为借不同风向吹走，不需大量人力来清砂，故具有一定的优点。但未用的路基型式主要决定当地地形条件，因此并不是什么主要技术问题。

三、沙漠地区的路基设计

(一)、总 则

1. 为了正确的提出防止风害的措施、应按下列标准区别风害的严重程度：

第一种是风害严重地区：

- (1) 有大片不长植物、或长得非常稀少的流动砂丘。
- (2) 风速很大、砂丘移动快、(3) 固砂造林的条件很差。

第二种是一般风害地区：

- (1) 流动面积不大、砂丘上长有一些植物、呈半固定状态。
- (2) 固砂造林条件比较好。
- (3) 没有明显的主风向，砂丘移动慢呈往复式，或往复前进式运动。

第三种是风害轻微的地区：

- (1) 砂丘上长有很多植物、已属固定。
- (2) 通过小面积或呈孤立状砂丘地区。
- (3) 不需采取固砂造林措施。

2. 处理铁路防风、应按上述类型，分别对待：如属第一类情况、要作慎重处理、加强防护设施和固砂造林工作，才能保证行车安全，因此，线路通过这种地区，工程量很大、运营时间的维修工作也多。

遇到第二类情况时，因为已长了一些植物、不需进行全面防护，同时，造林工作也容易在短期内完成，工程量也较少。

第三类情况，则更为安全，只要对新破坏的植被予以加固，其余与一般地区没有什么区别。

3. 铁路防风的根本措施是固砂造林、在林带未成长以前、

必须采用人工防护措施，将路基断面及线路两侧一定范围加以固定，以预防和保护路基不被大风吹毁和流砂掩埋。总的布置应依当地沙漠特征而定，一般如下查。

(三) 路基结构及加固：

1. 路基面宽度：路堤至风蚀的机械组成而定，如属细砂（ $0.25 \sim 0.05 \text{ mm}$ ），按一般土质路基设计，在一级干线上用 5.0 米，在二级干线上用 5.6 米；如系中砂（粒径大于 0.25 mm ），可按渗水土质的横断面设计。路轨部份，为防止沿坡面吹来的砂子掩埋轨道，两侧须设积砂平台。如当地只有一个主导风向，也可只设一侧平台。平台的宽度，应结合当地风力及砂子移动情况来考虑，每侧为 $1.0 \sim 2.0$ 米。

2. 路基边坡坡度，应不陡于砂子的天然安息角，一般沙漠地区的砂粒多属细砂，安息角在 30° 左右，约为 $1:1.75$ ，但应考虑边坡高度及防护因素， $0 \sim 6$ 米时，用 $1:1.75$ ；大于 6 米时，用 $1:2.0$ ，以采用一坡到顶的单一坡为佳，因该坡不但坡面容易积砂，且施工及防护均较困难。

3. 路基防护：砂筑路基，易被风吹毁，必须全面加以防护，防护材料以就地取材、达到不受风蚀为原则，一般可利用粘土、碎石（卵石）土壤，来作为路基防护材料，因为这些土壤是不会被风吹失的。现分别说明于下。

(1) 碎石（卵石）土壤：坚固耐久，不风风蚀，是一种优质的防护材料，如当地有出产时，应大量采用，但要注意以下事项：当边坡高度大于二米时，要用大于 10 厘米的石子，栽砌成与水平面成 45° 的方格，格子尺寸分 1.0×1.0 、 1.5×1.5 米或更大一些，可根据边坡高度、石子粒径及有无棱角而定，然后在方格内铺上五厘米厚的小石子（急），这样可以增加石子的稳定性，包兰线中红砂漠路基，均采用这种防护型式，