

青海省科学技术学术著作出版经费资助出版



盐湖地区公路修筑技术



房建宏 著

本书以青海省察尔汗盐湖地区长期艰苦的大量公路工程科研实践为依托，较系统地总结了我国西部盐湖地区的公路建设修筑技术。

盐湖地区气候、地理及地质概况、岩盐工程性质试验研究，盐湖地区公路勘察、设计、盐湖地区公路病害分析及评价和盐湖地区公路工程养护等。

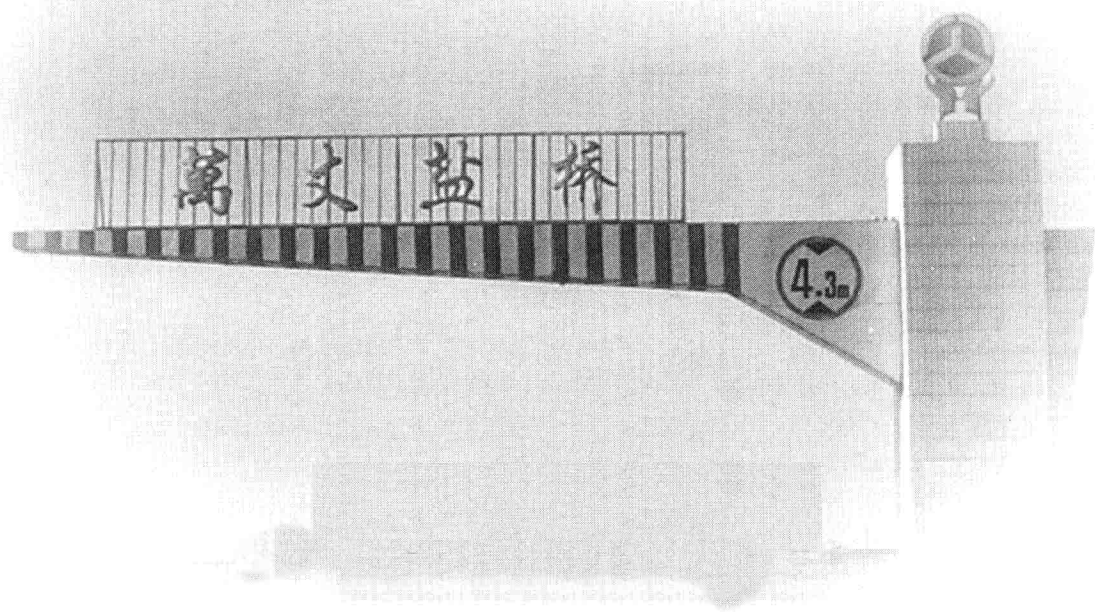


人民交通出版社
China Communications Press

青海省科学技术学术著作出版经费资助出版

盐湖地区公路修筑技术

房建宏 著



人民交通出版社

内 容 提 要

本书以青海省察尔汗盐湖地区长期艰苦的大量公路工程科研实践为依托,较系统地总结了我国西部省份盐湖地区的公路建设修筑技术。

内容包括:盐湖地区气候、地理及地质概况、岩盐工程性质试验研究,盐湖地区公路勘察、设计及施工技术、盐湖地区公路病害分析及评价和盐湖地区公路工程养护等。

图书在版编目(CIP)数据

盐湖地区公路修筑技术 / 房建宏等著. — 北京:人民交通出版社,2012.9

ISBN 978-7-114-07739-5

I. 盐… II. 房… III. 道路工程—工程技术 IV. U415.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 069438 号

Yanhu Diqu Gonglu Xiuzhu Jishu

书 名:盐湖地区公路修筑技术

著 作 者:房建宏

责任编辑:张 森

文字编辑:刘景泉

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757969, 59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京交通印务实业公司

开 本:787×980 1/16

印 张:11.25

字 数:283千

彩 插:4

版 次:2012年9月 第1版

印 次:2012年9月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-07739-5

定 价:55.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

盐湖是地球地表造山运动与冰川及河谷长期的地质、气候变迁所形成的奇特湖泊地貌,它与戈壁、沙漠等自然景观共同构成了美丽独特的世界奇观。我国是世界上盐湖分布最多的国家之一,其主要分布在我国青海、新疆、内蒙古、甘肃、宁夏等省区,尤以青海省柴达木盆地分布最广。

青海察尔汗盐湖位于柴达木盆地中南部,流域面积 32000km^2 ,是柴达木盆地最大的汇水中心。察尔汗盐湖是国内最大的内陆盐湖,东西长 170km ,南北宽 $30 \sim 40\text{km}$,海拔 2675m ,位于青藏高原北端柴达木荒漠区东南侧,在广阔的盐湖地区蕴藏和分布着丰富的矿产资源和独特的奇丽风光。早在 20 世纪的 50 年代在这片绵延的“盐海”中,就建成有闻名于世的“万丈盐桥公路”。

进入 21 世纪,随着我国西部大开发进程的逐渐加快,有越来越多的公路要穿越盐湖地区,因此,需要进一步研究和解决盐湖地区公路工程的特性和公路修筑技术。《盐湖地区公路修筑技术》一书的主要内容,是对交通运输部西部交通建设科技项目“青海万丈盐桥处治技术研究”(2001 318 795 49)所形成的科研成果的总结。本书结合青海省察尔汗盐湖长期的公路工程实践,较系统地总结了我国西部省份盐湖地区的公路修筑技术。该项目通过钻孔勘探和地质雷达等手段探明了万丈盐桥地质状况,对盐桥公路溶洞发育情况进行调查,摸清了沿线溶洞的发育及分布情况。通过 CT 分析、孔隙分布测试,蒸发、崩解、热胀冷缩等试验,查清了影响岩盐路基稳定性的因素,且对岩盐的物理、力学性质及路用性能进行了系统的研究;模拟分析了气候环境及交通荷载对岩盐工程性质的影响;再通过盐湖公路病害调查,运用探地雷达、面波仪、FWD 等技术手段,结合岩盐动态响应数值模拟,对岩盐路基的稳定性进行了评价;同时,还进行了岩盐基本力学性质试验,通过盐湖地区岩盐基本力学性质、抗压强度、动/静三轴试验,得出岩盐的变形及强度参数,建立了具有孔洞岩盐的动态响应模型,在此基础上,对暗洞的埋深及孔径提出了安全性评价标准;并提出了挤密桩、灌注桩、护坡道、土工复合材料等现场加固岩盐路基的处治措施和方法,成功地修建了试验路;通过野外实体工程验证和经济分析,提出了合理有效的加固措施。该项目结合地质勘探、试验路的设计、修筑与观测,编制了盐湖地区公路工程技术指南,对盐湖地区公路建设提供了一系列可行的道路勘察、设计、施工、养护对策,对未来盐湖地区公路建设养护给予显著指导。该项研究成果总体上达到国际先进水平,并获得青海省科学技术进步二

等奖。

本书相关研究成果在研究过程中得到了交通运输部西部交通建设科技项目管理中心、青海省科学技术厅、青海省交通厅等部门的大力支持,在此表示衷心感谢!同时,还要感谢参加研究工作的刘建坤、侯永峰、徐安花、马平安、张良才、张鸿儒、刘奉喜、朱建平、韩忠奎、王祥、何秉顺、韩晓刚、曹淑霞、刘宁、等同志及协助编写本书的罗伟甫老师。

由于作者水平有限,书中的错误和不足之外在所难免,诚请读者批评指正。

作者

2012年8月

第一章 盐湖地区气候、地理及地质概况	1
第一节 青海察尔汗盐湖气候与地理环境	1
第二节 察尔汗盐湖地质概况	9
第三节 盐湖地区公路硫酸盐富集层特征	28
第二章 岩盐工程性质试验研究	31
第一节 岩盐的形成及化学成分分析	31
第二节 岩盐的细观结构研究	37
第三节 岩盐的物理力学性质试验	41
第四节 水对岩盐作用的试验研究	49
第五节 温度对岩盐影响的试验研究	60
第六节 岩盐的击实性能研究	65
第三章 盐湖地区公路勘察、设计及施工技术	68
第一节 盐湖地区公路工程地质勘察	68
第二节 盐湖地区公路设计方法	71
第三节 盐湖地区公路施工技术	93
第四节 路面施工	107
第五节 盐湖公路质量标准与检测	121
第六节 试验路工程	128
第四章 盐湖地区公路病害分析及评价	146
第一节 岩盐路基病害及分析	146
第二节 夹杂孔洞(暗洞)岩盐路基的安全性评价	152
第三节 盐湖公路病害防治	160

第五章 盐湖地区公路工程养护	167
第一节 路面养护	167
第二节 路基及其他设施的养护	171

盐湖地区气候、地理及地质概况

地球经过多次的造山运动,在中国西部及西南部的大地上隆起了一个闻名全球、号称“世界屋脊”的青藏高原,它是世界上最大的高原,四周环绕着巴颜喀拉山脉、唐古拉山脉及昆仑山,又有阿尔金山——祁连山脉,以及横断山脉,山势陡峭,雄伟壮观,面积约为 230 万 km^2 。它包括甘肃省西南部、四川省西部以及青海省和西藏自治区,海拔在 3000 ~ 5000m,山岭海拔最高超过 6000m,峰巅终年积雪,冰川广布,湖泊星罗棋布,是东亚、东南亚和南亚各大河流的发源地。它按地形地貌可分列为藏北高原和藏南谷地,柴达木盆地,祁连山地,青海高原和川藏高山峡谷等。

柴达木盆地是青藏高原的一个组成部分,在阿尔金山、祁连山和昆仑山间第四纪沉积的拗陷中,是高原最大的山间盆地,面积约为 20 万 km^2 ,东西长约为 800km,南北最宽处约为 350km,地势自西北向东南微缓倾斜,平均海拔 2800m,从边缘至中心,依次为山地沙漠戈壁、洪积、细土、平原(包括微丘陵)、湖泊,以及广阔的山前戈壁(即石质荒漠)。盆地西部有沙漠戈壁交错分布于山麓地带,沙漠面积约为 2 万 km^2 ,流砂占 70%,以新月形沙丘链为主,其余多为固定及半固定沙丘,戈壁面积约为 4.5 万 km^2 ,且多分布于山麓洪积扇的中上部,植被稀少,按公路自然区划分为Ⅶ-2 区,是柴达木荒漠过干区。

第一节 青海察尔汗盐湖气候与地理环境

青海柴达木盆地中间分布着许多封闭的盐湖和干涸的盐滩,这些湖泊大都属于新生第三纪末或第四纪的产物,又因其地处内陆远离海洋,湿润的空气不易侵入,形成了典型的荒漠性气候,由于异常干燥和蒸发作用,促进了封闭盆地湖泊中的卤水逐渐浓缩和变浅,以及盐类集聚和大量沉积,这些都明显地呈现出高原深盆成盐的主要特点,而盆地湖泊形状也随着地形拗陷的变迁而逐步地演化和发展。

柴达木盆地气候有它的独特之处,由于深居欧亚大陆腹部,受到喜马拉雅山、唐古拉

山和昆仑山脉的阻挡,温暖气流较难进入盆地,导致了冬寒夏凉明显的大陆性高原气候,盆地年平均气温 $1\sim 5^{\circ}\text{C}$,日均温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 可持续200天。年平均气压为725mbar,降水偏少,年降水量45mm,盆地西部不足20mm。东部稍高,有时降水量大于50mm,且多集中在6~8月。风大且多,以西风或西北风为主,最大风速可达 $20\sim 22\text{m/s}$ 。日照时间长,热量充沛,年日照时数可达3100~3600h,太阳辐射总量为 200kcal/cm^2 左右,盆地年蒸发量在2000~3250mm之间,最高可达3700mm,是世界上蒸发量最大地区之一,盆地中部和西部区域内蒸发量和降水量之比可达数百倍,以冷湖地区为例,缺水年限变差达300多倍,即使在雨季亦达100多倍,而且相对温度和绝对温度都很低。盆地昼夜温度变化剧烈,日较差大者可达 $25\sim 34^{\circ}\text{C}$,极端最高气温 35.5°C (察尔汗),极端最低气温 -33.3°C (冷湖)。无霜期很短,盆地仅40天左右。这样的大陆性寒旱气候特征,构成了荒漠和半荒漠的景观,概括地说,柴达木盆地是高寒、干燥、多风和少雨的自然环境,是盐湖形成的理想自然地理条件。

盆地中的盐湖系指有盐的湖泊,即在湖内有着盐类的融沉,湖边有盐类集聚和堆积。以下是中国盐湖研究部门按湖泊含盐量将湖泊划分为六种类型,各种类型湖泊的划分原则为:

- (1)淡水湖,湖水矿化度小于或等于 1g/l ;
- (2)微(半)咸水湖,湖水矿化度大于 1g/l ,小于 35g/l ;
- (3)咸水湖,湖水矿化度大于或等于 35g/l ,小于 50g/l ;
- (4)盐湖或卤水湖,湖水矿化度等于或大于 50g/l ;
- (5)干盐湖,没有湖表卤水而有湖表盐类沉积的湖泊,湖表形成坚硬的盐壳;
- (6)砂下湖,湖表面被砂或黏土粉砂覆盖的盐湖。

由分类可知,(4)、(5)、(6)等后三种类型湖泊都应属于盐湖。

一、察尔汗盐湖地区

青海柴达木古湖构造盆地中南部,由它的最低凹地区察尔汗盐湖,以及其周边的十二个重溶湖,共同组成了察尔汗湖区。察尔汗盐湖处于盆地第四纪沉积中心,湖面呈西北向东南延伸的黄瓜状,盐层裸露地表,是我国首屈一指的现代液相钾、镁盐矿的盛产地。它东西长168km,南北宽30~40km,面积为 5856km^2 ,是我国最大并据世界第三位的干盐湖。其距青海省格尔木市约60km,离大柴旦镇100km,湖区除察尔汗为干盐湖外,尚有达布逊湖、霍布逊湖等一系列卤水湖。盆地现有大于 1km^2 的盐湖43个,面积达 16509.78km^2 ,卤水湖和干盐湖反映着盆地晚期演化发展全过程,察尔汗湖区海拔2675m,地理坐标:东经 $94^{\circ}15'\sim 96^{\circ}14'$,北纬 $36^{\circ}17'\sim 37^{\circ}12'$ 。湖盆深居欧亚大陆腹地,年平均气温 4°C ,1月平均气温 -12°C ,7月平均气温 18°C ;年平均降水量25mm,年平均蒸发量3370mm,为降水量的135倍,湖盆日照时间较长,年平均3200~3400h,经常刮西风或西北风,平均风速 4m/s ,属于典型的大陆性干旱气候,地理位置如图1-1。215国道(柳园—格尔木)从盐滩中部通过,盐湖

黑鷹山
 柳園
 巴丹
 吉林
 沙
 內
 河西堡
 武威山
 哈爾蓋
 西寧
 龍羊
 海
 茶卡
 希里溝
 紅鐵山
 大柴旦
 柴
 芒里
 油沙山
 冷湖
 甘森
 達
 青
 格爾木
 納赤台
 烏麗
 若羌
 米蘭
 羅布泊
 嘉峪關
 酒泉
 甘肅
 鏡鐵山
 敦煌
 橋灣

察尔汗盐湖湖区位于柴达木盆地最低处,盐滩平坦,起伏不大,一般不超过 $1 \sim 2\text{m}$,是柴达木盆地最大的汇水中心,流域面积达 32000km^2 。盐湖周围发育着大小不等且多为间歇性的内陆河流,多源于南缘的昆仑山,受冰雪融水控制,夏季水量大,冬季水量小。水量较大的河流如索尔果勒河、柴达木河、格尔木河、泉吉河等,均直接注入盐湖;较小的河流如诺木洪河、哈鲁乌苏河等,属于间歇性河流,流出不远即消失于山前洪积层中,察尔汗盐湖的中南端毗邻全新式的溶蚀湖——达布逊湖,它是察尔汗湖区的一个重要组成部分。达布逊湖是卤水湖,一年四季都有表层卤水,湖水面积约为 210km^2 ,略呈北西—东南向,形状近似弯月状,湖底平缓,起伏不大,最大水深处仅 $80 \sim 90\text{cm}$,沉积盐类主要为石盐,紧靠察尔汗盐湖东侧浅水区有较多的光卤石 ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 沉积,呈白色且结构松散,其北岸和东岸的陡坎边缘,盐壳下的盐溶异常发育,达布逊湖的补给水大部分来自常年性流水的格尔木西河,年平均流量约为 $22\text{m}^3/\text{s}$,另外还有格尔木东河、收工河等季节性河流。在格尔木河径流流入达布逊湖南端处,由于上游河床沿途的长期冲刷,致使堆积物淤积较多,除石盐外还有黏土、淤泥夹杂其间。湖水的矿化度由上游的 0.9g/l ,逐渐增加至湖积平原处的 315g/l 左右,较高的含盐量使得当地的地层在冬季也较少发生严重冻结现象。

二、雅丹地貌

在广袤浩瀚的盐滩地上,常有风积物孪生一起,外围伴有风积沙垄,戈壁滩地以及盐渍化土壤等共生,从甘青交界的当金山经冷湖、茶冷口至一里坪盐桥公路大风山路段,沿途可以见到很多的风蚀丘地貌,这就是奇特神异的雅丹地貌。雅丹,维吾尔语原意为“具有陡壁的小丘”,是干燥地区的一种风蚀地貌,是由河湖沉积物所形成的黏土性岩层组成的地面,经间歇性水流侵蚀和强烈的风蚀作用,形成一系列平行于盛行风方向的伸长,相间排列着高半米至几米的风蚀土墩和宽1~2m的风蚀洼地相互组合的地貌。世界各地荒漠包括突厥斯坦荒漠和莫哈韦沙漠在内,都有这种雅丹地形,我国新疆罗布泊东北,发育也很典型,青海315公路一里坪盐湖东北端呈现的雅丹地貌,不能不说是与干涸湖有着一定的关联,干旱荒漠、植被稀少和风力作用是它的基本因素,神采美丽的雅丹地貌,有着很多形形色色、千奇百怪的小山丘凸起,经历千千万万年的风吹日晒,风蚀雕成形如风蚀蘑菇、风蚀柱,有的形如匍伏着的大雄狮,亦有的形如远航的古时船舰,还有的酷似丝绸之路上的骆驼队,更有地貌形态如孔雀开屏屹立在公路两侧,这些都衬托着干旱地区典型独特的荒漠景观。

鬼斧神工的“雅丹地貌”,它记载着青藏高原的气候演变、地球内外力的作用、高原地质环境的变迁与侵蚀等历程,对于研究自然环境和高原生态演变,以及交通事业的发展具有一定价值,著名的大风山“雅丹地貌”,它是由于极端干旱加之强劲风力,把许多平行的小土梁吹成不同独特长度段落,风蚀作用持续地进行,原始地面端被不断缩小,才留存着前述不同形状孤立的奇形小山丘,它的丘顶有着不易被风吹扬的砾碎石或者盐土硬壳保护。在20世纪80年代末中国西部盐渍地区公路病害考察过程中可知,对该路段风蚀残丘,大致有以下四种情况。

- (1)盐土与粉质中液限黏土互层,其下为盐盖,局部丘顶为盐盖覆盖着。
- (2)盐土与盐盖互层,周围粉砂或风积沙堆积。
- (3)片状的石膏层与盐土或盐盖互层,比较坚硬。
- (4)全系盐土硬壳组成的小土丘,四周有风积沙。

其中第一、二种的风蚀残丘较为坚硬,第三种风蚀残丘往往伴之以风积沙或盐土剥落,堆积掩埋公路,影响交通,第四种风蚀残丘纯系盐土和盐盖组成,盐土部分剥落最为严重。“雅丹地貌”土质坚硬,呈浅红或红褐色,与青灰色的戈壁滩地形成强烈的对照,又在蓝天白云的映衬下格外引人注目,是旅游资源开发的一道特色景观。

三、盐湖地区公路沿线盐渍化景观

柴达木盆地盐湖地区公路既受着当地的地质构造、古地理环境、物质来源和成盐演化等差异的影响,又与干旱区和过干旱区气候条件密切相关,高原盆地的盐湖面海拔高程都偏高,在2675~3171m之间,而湖水较浅又是柴达木盆地各盐湖普遍的规律,一般来说卤水

湖水的盐湖深度较浅,仅有数十厘米,甚至只有一米之内的变化幅度,著名的察尔汗盐湖,又名察尔汗干盐湖,是柴达木盆地的最低湖区地段,湖底起伏不大,湖床平坦,仅有1~2m内的变化范围,所以亦是柴达木盆地内最低洼处,因此成为盆地最大的汇水中心,流域面积约为32000km²,主要的补给源来源于周边的地表水和地下水,与补给源相应的淡水湖、半咸水湖以及新生发育的溶蚀湖,它们的湖水深度较大,有的深达数米到数十米。

察尔汗盐湖区是一个大干盐湖,盐层裸露于地表,成为浩瀚的盐滩,又是大型钾镁盐矿产地,是一个以液相钾镁盐为主,固体钾镁盐、石盐等共生的具有工业价值的综合性矿床。盐湖卤水包含着湖表卤水和晶间卤水两部分,湖表卤水系出露于地表的湖水,而晶间卤水却是埋藏在盐类之间或者沉积于碎屑物颗粒间的地下卤水,湖表卤水含K元素为1%~1.4%,Mg为4%~5%,而晶间卤水含K元素0.5%~1.0%,Mg为4%~5%,都是富含钾镁元素的液体矿床。

(1)盐湖地区公路首先受着盐湖湖水类型、面积深度和矿物成分等特点制约,同时又有当地气候、自然地理环境等因素的影响,由此而产生出公路修建、养护以及公路病害处治上的许多特殊问题,直接关联着盐湖地区公路路基、路面设计和施工的技术要求、工程质量和工程投资等事项,同时,还必须综合考虑筑路材料、施工条件和环境保护等因素,借以决策能否贯彻因地制宜、经济适用、技术先进和安全的公路建设原则。

(2)盐湖地区公路沿线的土壤分布规律,它受着各种成土因素的影响,主要还是气候与地形,以及盐湖盐类的影响最深。盐湖地区公路随着青海高程的降低,土壤粒度由粗变细,土层层次逐渐增厚,地下晶间卤水位相应提高,含盐量亦趋于增大,盐湖地区的山前冲击平原上,多为粉质中、低液限黏土,风化泥岩夹杂其间。而在细砾石漠(又称戈壁)地带土质为微含粉土砾,含盐量较少并多在距离盐湖边缘较远地段,盐湖边缘冲积锥的台地上,风蚀残丘较多,雅丹地貌丛生,并伴有积砂聚集,呈黄褐色,第三纪沉积的泥岩风蚀残丘受强劲的风力吹蚀,形成不同形态的小丘,顶部有不易吹落的砾石或者胶结盐块形成的硬壳保护,残丘内部有盐土或盐盖互层,更有薄板状石膏矿物夹杂其间,软戈壁滩地的公路沿线土壤多中、细砂粉质低液限黏土胶结层,其下为风化泥岩,在盆地南缘盐湖湖水波及影响较小,属细土平原地段,沉积物比较黏细,土层层次结构明显,上层为低液限黏土(亚砂土),中间有中液限黏土(亚黏土)的盐与土的胶结层,再下为净细砂,这些都充分反映了盐湖地区公路沿线干旱区第四纪典型的山前冲积——洪积地貌的土壤特征。

(3)盆地由于四周汇水面积区域内的岩石,经历了漫长的地质年代,风吹、日晒以及地表水与地下水的侵蚀、淋溶、冲刷等风化作用,盐类和许多微量元素就离析出来,这就是风化盐的形成,亦是盐湖地区公路沿线筑路材料中积聚盐类的主要来源。同时岩系中夹有盐类矿物,盐分很容易从中迁移出来,盐湖中的卤水就是靠着这种再溶盐,可以说盆地盐湖盐分的主要来源应是岩石风化产生的风化盐和一部分从盐矿物岩系溶解的再生盐。从《青海柴达木盆地公路沿线盐渍化初步考察报告》得知,盐湖地区地下水位一般来说埋藏得比较深,在盆地中心盐湖边缘或者地势比较低洼之处,亦有地下水位稍高的路段,且多饱和

卤水矿化度较高,腐蚀严重,主要公路沿线地下卤水矿化度如表 1-1。

表 1-1

公路里程	卤水矿化度(g/l)	相对密度	pH 值	备 注
冷大线 K32	315	1.271	6.95	
冷大线便道 K14	335	1.279	6.82	
当茫线:黄瓜梁	332	1.208	7.10	
青新线:一里坪	332	1.212	6.5	
青新线:K587	325	1.214	6.5	
青新线:K637	312	1.212	6.3	
青新线:K647	312(1973 年 137)	1.238	6.6	1973 年受西台吉 乃尔湖湖水稀释
青新线:K707	362(1973 年 217)			
青新线:K719		1.227		
青新线:K762		1.230		

(4) 盐湖边缘山前冲积锥段地下水的矿化度仅有 1g/l 左右,而在盐湖中心或盐滩段公路沿线埋藏的地下水竟骤然增至 200 ~ 300g/l,这不能不说是高原干旱的气候和地理地质环境决定着盐湖地区公路沿线积盐的独特性质。

盐湖地区的干盐滩是公路修筑充分利用之处,该处土壤地质受高原干旱强烈蒸发的气候影响,积盐异常严重,且积盐的表聚性特强,全剖面含盐量较高,一般含盐量大于 10% 者居多数,几乎是纯氯化物盐类,垂直剖面各层次在 1m 深度内含盐量分布大致情况如下:

0 ~ 5cm	69% ~ 90%
5 ~ 25cm	8% ~ 13%
25 ~ 50cm	5% ~ 15%
50 ~ 75cm	4% ~ 10%
75 ~ 100cm	5% ~ 7%

前面述及在干涸盐湖表面逐层沉积的岩盐材料,按其致密、坚硬和耐磨程度,分列成盐壳、盐盖、石盐以及泥质沉积物四层,盐湖地区公路修建和养护部门长期依据其岩盐材料的生成条件、不同盐类和盐性以及含盐量多少,分别选用于公路路基填料底层和面层,多年的实践经验证明,广泛应用氯化物胶结盐类改善中低等级公路的办法,是个经济实用的措施。在中国西部盐渍土地区公路病害考查过程中证实,针对盐湖地区公路沿线的积盐状况,利用多盐分岩盐材料修筑和养护公路是切实可行的,就地取材的作法在国内也是极为罕见的。

(5) 干涸盐湖腹部地段的公路沿线,含盐量特重,地下晶间卤水距离地表 50 ~ 60cm,盐分组成以氯化物盐类为主,在山前洪积冲积平原上以硫酸盐氯化物和氯化物硫酸盐占多数。硫酸盐富集层在冷大公路、黄瓜梁地段和格茫公路乌图美仁路段比较集中,敦格公路距

格尔木市 25km 的小桥(地名)处硫酸盐含量大于氯化物盐类,在乌图美仁、大灶火、小灶火等地还有部分硼酸盐存在。另外在盆地西北,洪积冲积的中部地带,地表呈辐射状裂缝,并有氯化物盐壳的鼓起,下部埋藏有结晶块状($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)或白色粉末层(Na_2SO_4)即无水芒硝,这就是硫酸盐的富集层,常处于中部与底部,有波纹带和柱状等层次,亦有蜂窝骨架胶结的盐结块夹层,骨架组织均匀密实,呈暗青色,盐性属氯化物,含盐量可达 60% 左右,骨架缝隙间有白色硫酸钠粉末,含盐量一般超过 3% ~ 5%。在公路沿线路基外侧可常见到晶间卤水坑存在,在卤水上端经干旱蒸发析出的氯化物结晶体呈白色,空隙中渗入卤水,与气体和有机质、石膏形成钾石盐等包裹体,一般呈现立方体晶体,有时可见到细柱状或针状等结晶体。在秋末和冬季时节,硫酸钠晶体有时浮现在卤水面上,为无色透明到白色半透明,玻璃光泽,呈短柱状或薄板状,在公路沿线土质边坡上,还可以见到白色粒状硫酸钠从中析出,附着于土粒间,所以说盐湖地区盐分的组成是比较复杂的,盐分的离子成分也有着它的特点,即随着含盐量的增大, $\text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ 和 SO_4^{2-} 离子急剧上升, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 离子虽然有所增加,但增加速度较慢, CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 的离子增量极微,变化幅度亦不大,这与室内化学分析试验资料的记载是一致的。

四、盐湖公路的积盐特点

(1) 盐湖地区的公路很多路段不受自然降水的影响,常年积盐亦是该地区的一个特点,它与高原极端干旱的气候和强烈蒸发条件密切相关,盆地的西部几乎没有天然淋盐作用,东部即使有天然淋盐过程,其数量亦极为微弱,偶而有区域性暴雨逢流,亦仅能渗入地表深度不大于 10cm。盐湖地区公路沿线岩盐材料天然含水量都很小,一般在 3% ~ 5% 左右,盐壳的含水量在风力和蒸发共同作用下,只有 0.5% ~ 1.5%,水分消耗于蒸发,从而促使表层直接积盐,大量盐分集聚于地表,易溶盐多呈固体存在,形成既脆又坚硬的盐壳,大部分具有坚固整体性结构,一般胶结密度呈中等,胶结良好的犹如中粒砂岩和细粒砂岩强度,其单轴抗压强度 $\geq 5\text{MPa}$,强性模量 $E = 350 \sim 400\text{MPa}$,即使固结中密的抗压强度亦有 0.5 ~ 5MPa,弹性模量为 40 ~ 350MPa 不等。盐壳一般都为氯化物盐类,受长期的日夜温差热胀冷缩的影响,呈现各种形式的裂缝,亦有处于饱和卤水面以上的盐壳,同样在强烈的蒸发条件下由于毛细水盐析致体积膨胀,受结晶力的作用,沿水平方向互相推挤,直至直立、翘曲形成不同形态的微地貌。纯氯化物盐壳比较坚硬密实,含有硫酸盐成分的盐壳较为松软。敦格公路察尔汗盐湖北缘和冷湖至大风山公路 101km 附近翘立盐壳的微地貌,亦是天然淋盐极端贫缺的体现。

(2) 盐湖地区公路盐分积累过程是干旱条件以及人类活动影响的结果,积盐的迁移运动有着一定的规律,前已述及高原干旱区盐分来源多属风化盐和一部分的再溶盐,高山的岩石经过机械风化作用和盐类结晶的胀裂作用使之破碎崩解,尽管高原干旱湿度较小,但是空气中仍有少量的水汽,水分积聚在岩石裂隙将岩石中可溶矿物部分溶解,又经过强烈日光照射,水分蒸发,盐分析出形成结晶,亦有的是岩系中已有盐分,是原生盐类的存在,随

着地表径流或地下水露出地表,盐分是在经历长期地质年代溶解和结晶、水化与脱水现象频繁地发生又经历不断蒸发后形成的。总之,盐湖地区盐分原生状况比之西部其他地区的面积既大又有明显的特点。

(3) 盐湖地区大都缺少淡水,甚至没有淡水,风力剥蚀十分严重,中部低洼处聚集高浓度晶间卤水,如敦格线的察尔汗盐桥,青新线一里坪也有类似盐桥存在,冷大线的盐滩公路,以及当茫线的黄瓜梁地段,在公路沿线地表以下 0.5 ~ 0.8m 浅层即有晶间卤水明显外露,主要化学组成见表 1-2 所示:

表 1-2

离子	察尔汗		黄瓜梁	一里坪	冷大线 32km	冷大线 47km 便道
	最高	最低				
K^+	16.70	0.91				
Na^+	63.77	1.64	123.06	102.05	76.10	117.33
Mg^{2+}	56.23	9.13	1.06	1.36	30.01	3.46
Ca^{2+}	24.44	0.18	5.13	23.44	4.49	0.45
Cl^-	182.69	281.34	200.78	195.70	180.76	187.75
SO_4^{2-}	42.42	0.18	1.41	9.16	43.13	5.45
HCO_3^-	0.20	0	0.18	0.37	0.48	0.08
CO_3^{2-}	0.33	0	0	0	0	0
总矿化度(g/l)	386.78	293.38	331.62	332.05	334.98	314.53

(4) 盐湖地区公路沿线盐化程度和盐类性质,随着地形和积盐条件有所不同,盆地腹部干涸盐滩和低洼处积盐严重,绝大部分以氯化物盐类为主,并有硫酸盐氯化物和岩盐共存者,主要分布在青新、敦格、当冷、当黄、茶冷和冷湖支线等公路上,敦格线当金山至大柴旦,老茫崖至花土沟以及当冷公路沿线属细砾石漠(又称戈壁),土质为含砾低液限粒土(粗、细亚砂土),含盐量较轻,一般为 2% ~ 8%,其中氯化物盐类占 65% ~ 90%,硫酸盐类仅占 10% ~ 30%,盐结块的含盐量可达 50% ~ 60%,绝大多数为氯化物盐类,即使公路沿线的砾石和砂粒,含盐量亦有 2% ~ 9%,盐湖公路所处地势较高段,自然地面横坡大,季节性径流遍地漫流。

即使细砾石等来源也混杂不匀,有的是古代的冲积物,也有的是洪积碎屑,还有的是母岩风化的残积层,这亦充分反映着内陆盐湖地区边缘段公路沿线不同的自然景观。

(5) 盐湖地区公路沿线常见的有盐壳、盐盖、盐结块和岩盐等岩盐类材料,它是特定的极干旱气候条件下的产物,就其强度来说是能满足公路修筑要求的,由于存在盐性和盐质不匀呈现强度不匀的缺陷,必然采用相应的措施予以弥补,既往仅采用限制含盐量的方法在盐湖地区是不适用的。究竟易溶盐含量多少对土体有所影响,各有各的说法,前苏联波汝雅克认为“当土中所含易溶盐少于 0.5% 时,土体的物理性质和力学性质主要依其颗粒

组成的特性而决定,事实上,盐分实际上不发生影响,当含盐量超过0.5%以后,土的性质开始受到盐分的影响而发生改变,当易溶盐的含量在土中超过3%时,土体的物理性质和力学性质将主要依据所含盐分的种类和数量而决定”。但是也有的认为氯化物盐类的含量对土体临塑荷载的影响有着一定的关系,当含盐量为5%~10%时开始有着一定的影响,而在含盐量大于10%时有着较大的影响,且当含盐量大于28%时,盐类含量超过了氯化物盐的临界溶解量,激发出对盐土间的胶结作用,提高了力学强度,可以达到无盐胶结的5~6倍以上。曾在室内外对现场采集的盐块(包括盐壳、盐盖、岩盐和盐结块)进行抗压强度试验,一般试件的含水量均小于4%,空隙率为25%~35%,容重约为14.0~16.5kN/m²,中等密度氯化物胶结盐壳或盐结块其抗压强度为0.85~1.5kN/m²,最低的亦有0.45~0.70kN/m²,较为坚硬的氯化物盐盖试件亦有超过3.5~4.2kN/m²的,这些足以说明无水侵蚀的干燥岩盐材料是能满足公路路基工程要求的,因为,盐湖地区公路多在盐壳表层通过,即使局部有地下水路段矿化度极高,接近饱和状况,也是就地沿大小盐滩或干涸盐湖盆地顺直跨越。

(6)盐湖地区除氯化物岩盐类材料外,尚有埋藏在盐壳或盐盖下层的硫酸盐富集层,亦有附着在盐结块面层白色粉末的硫酸盐成分。自然界中有结晶硫酸钠和无水硫酸钠的两种状态存在,结晶硫酸钠($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)又名芒硝或元明粉,单斜晶系,无色无臭的白色结晶颗粒,玻璃光泽,呈短柱状、针状或薄板状,集合体为块状、纤维状和粒状结构存在,比重1.490,硬度1.5~2.0,具有风化性,在100℃时即失去10个结晶水,这就是硫酸钠在高温季节干燥的空气中容易自然溶融的原因。失水变成白色粉末的无水硫酸钠(Na_2SO_4)无色、灰白色、黄棕色,比重2.68,硬度2.5~3.0,显微镜下可见裂缝成龟裂状;熔点约880℃,在吸收结晶过程中,放出一定的热量,这种热量与 Na_2SO_4 变成结晶化合物有关,在昼夜温差反复的作用下, Na_2SO_4 时而吸水结晶,转化成 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 体积增大,时而脱水以复原成 Na_2SO_4 体积缩小,这样反复地循环变化,在公路路肩上就会呈现土体蓬松,足踏即陷,路面上出现鼓包、开裂和变形,这些都归结于硫酸盐结晶膨胀,是产生不均匀分布的盐胀病害的原因。其是温度、含盐量和含水量三个因素综合作用的结果。

第二节 察尔汗盐湖地质概况

察尔汗盐湖位于柴达木古湖构造沉降盆地最低凹地区,长期相对下沉,第四纪晚期以来,受高原盆地区域性干旱气候的影响,成为湖水浓缩干涸和析盐沉积的产物,形成一个大型氯化物型的干盐湖。湖区结构复杂,层次亦很不稳定,这是由于蒸发、降雨、气温升降、湖边淡水补给和盐类盐溶、盐析,促使盐湖分布着一种呈现组合板状、饱含高矿化度水和多变特性的岩盐层,盐湖中心湖相沉积的盐类最大厚度达70~80m。

图1-2为万丈盐桥公路沿线高程分布,从路面高程进入低洼区域(约K563里程)起地势平坦,直至K595地势又重新上抬。这个长约33km的范围正好是盐湖存在的区域,也就

是原盐湖水滞留的区域,说明了岩盐分布区域位于地势低洼的原湖区范围。在 $5.0 \times 10^4 \sim 2.5 \times 10^4$ B. P. 时,察尔汗古湖自西而东相继结束了预备盆地,依次进入成盐盆地演化发展阶段,并逐渐形成了巨厚的盐类化学沉积,最厚处达 73km; $1.2 \times 10^4 \sim 0.9 \times 10^4$ B. P. 时,由于缺乏水源,察尔汗盐湖已经干涸,形成了当今哑铃状的干盐滩,由于表面受到了风成沉积砂土影响,最终形成今日土褐色的盐坪地貌景观。

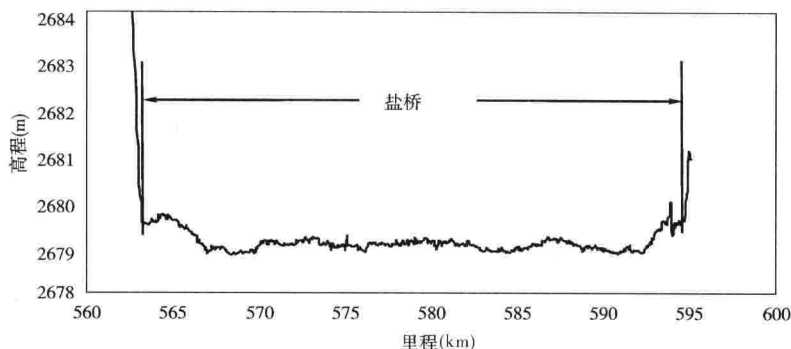


图 1-2 万丈盐桥沿线路段高程分布

察尔汗盐湖是一个名副其实的“盐的世界”,当地的房屋和围墙用盐结块堆砌,食用盐就地采集,公路采用沿线丰富的岩盐材料进行修筑和养护。人们一切生活资料都须要从外地运来。柴达木盆地察尔汗过于干旱荒漠气候,相当低微的空气湿度,盐湖经受强烈蒸发、浓缩和干涸,大量盐类的沉积,为盐桥公路的修建和养护创造了独特的自然地理环境和有利的地质条件。但由于察尔汗干盐湖地质年代较新,盐层埋藏浅,未经长期的地质成岩作用,也未遭受强烈构造运动的影响,所以,岩盐材料颗粒之间仅有犬牙镶嵌的连接和集合,连结力也弱,称之为多晶随机弱面体。它既不同于一般的沉积岩,也不同于完全松散的堆积物,强度低、密度小、孔隙度大是它的特点。

为了全面弄清万丈盐桥沿线路段的地质条件,青海省交通部门利用加拿大 Sensors & Software 生产的 EKKO100 型探地雷达 (Ground Penetrating Radar, 简称 GPR),展开了对“万丈盐桥”公路沿线路基下部岩盐、土类等工程地质状况的详细勘察。勘察范围从盐桥路段外的 K557 至“万丈盐桥”结束标志处的 K595 + 106,共计 38.106km,如图 1-3。结合地层的钻孔资料,并对探地雷达勘探成果进行整理,编制了盐桥全线 1:2000 的工程地质纵剖面图,选择 16 个断面的横断面雷达勘察,16 个横断面的里程位置列于表 1-3。

横断面里程位置表

表 1-3

横剖面序号	里程位置	横剖面序号	里程位置
1	K565 + 000	4	K580 + 000
2	K570 + 000	5	K584 + 650
3	K575 + 000	6	K590 + 000