

# 机场工程的环境工程地质问题

冯立本

(空军工程设计研究局 北京 100075)

**【提要】** 本文通过机场选址、机场改扩建、机场工程三种工程实例, 讨论机场环境工程地质问题。而机场自然历史地质环境、机场历史人为作用工程地质因素、机场工程实施和机场运营过程中的人为作用工程地质因素, 是机场环境工程地质条件的主要内容。通过三种因素的综合作用分析, 进行机场环境工程地质的评价和预测, 制定地质灾害防治措施, 对保障机场工程顺利实施和安全运营有重要意义。

**【Abstract】** This paper discusses the environmental engineering geological problems of airport engineering. Proposes the main contents of the environmental engineering geological condition of airport are the natural historical geological environment, historical man-made engineering geological factor and the man-made factors during the engineering construction and the airport operation. And conducts the evaluation and forecast of the environmental engineering geology of airport through the analyses about the above 3 comprehensive factors. Lay down the preventive measurements of geological disaster. It has significant for the successfully constructing and safely operating of airport engineering.

## 0 前言

目前, 新建和改扩建机场工程的环境评价, 主要有飞行噪音的环境评价、机场生态环境的评价、机场水污染的环境评价等。对机场工程地质环境的认识, 多限于重要岩土工程问题的专题研究和工程处理措施的讨论, 而对机场环境工程地质问题尚缺少全面而系统的工作。但由于机场飞行地带(区)的直线性特征, 道面地段两端一般也需要数十公里的空间区域; 同时, 机场的整体面积比较大,

环境影响范围也比较广, 且其主体构筑物, 道面板层结构的道面本身, 重量虽然不大, 但使用荷载(飞机起、落、停、转)则比较集中, 道面本身容易受岩土环境的不稳定性影响。因此, 在新机场选址和已有机场改扩建过程中, 在弄清场址区域地质稳定性、场道(飞行区)地基岩土的适宜性、机场天然建筑材料的来源、供水水文地质方案等诸多因素的同时, 查明机场环境工程地质条件, 阐明工程地质环境对建场的影响是很重要的,

该验算桩基沉降值与该高楼由实测沉降推算的最终稳定值13cm值接近。

结语: 本文以实例为根据, 经探析与验算, 认为: 贯入于第⑦层密实砂层中群桩基底下地基中的应力, 由于双层地基作用, 对加大其下卧灰色粘土层的压力扩散作用应予考虑; 应用Mindlin应力分布理论, 修正深砌群桩基底下地基中的压力, 以及按桩基底应力扩散角的模式, 更符合现长桩进入硬土层相当深度的地基应力一应变实际情况。建

议的方法, 计算简便, 接近实际。本文仅是借用已有论据进行探析, 不当之处, 敬希指正。

## 参 考 资 料

- 1 上海市标准—地基基础设计规范 (DBJ08—11—89)
- 2 上海市标准—岩土工程勘察规范 (DBJ08—37—94) 说明书
- 3 工程地质手册 第三版 1990, 396~855
- 4 上海八十年代高层建筑结构设计, 上海市建设委员会 1994年5月科技委员会

是保障机场建设成功的重要工作之一。

机场环境工程地质的调查、研究和评价工作的内容：一是查明机场环境工程地质条件；二是对机场工程的实施和运营过程中的工程地质环境进行预测（主要指灾害预测）和制定灾害防治措施。机场环境工程地质条件，应包括自然历史地质因素和人为作用因素两个方面，可列为三项基本内容：

(1) 机场自然历史地质环境条件；

(2) 机场历史的人为作用工程地质因素（或条件）；

(3) 机场工程实施和机场运营过程中人为作用工程地质因素（或条件）。

这既是考虑历史自然地质因素，也是考虑人为作用的历史和现状因素，并将两类因素的综合作用，对机场工程的影响做以科学的预测，为机场勘察设计的可靠性和运营的安全稳定性提供确切的地质依据。

以下列举新疆盐渍土地区和甘肃黄土地区的几个机场环境工程地质问题实例，以说明机场环境工程地质的要素，预测防治的重要性，不涉及工程地质环境质量的定量分析方法。

## 1 机场环境工程地质的重要性

新疆东部某机场，地处山前洪冲积扇（扇轴长约50km，宽25km）的前缘地带，地面高程850m左右，地势平坦，净空良好。机场于60年代初建成，由于机场所处地质环境，属于硫酸盐—氯化盐为主的强盐渍土区域，致使机场修建中开始便受盐渍土的危害，已建成18万m<sup>2</sup>的道面区，约占总面积的40%范围产生凸起（一般凸起高3~5cm，最大8~9cm）或凹陷，道面裂缝总长度达数万米之巨。其教训在于对盐渍土本身和环境工程地质条件缺乏认识，并对古老戈壁滩可作为“良好天然地基”的错误看法。

### 1.1 场地的自然地质环境

该机场地处黑色的古老戈壁滩上，常有典型的“瀚海”景观，地层是由含盐量极高

的红黄、灰、红棕、灰黄色洪冲积砂砾石构成。地表浅层2~3m内，含有大量“盐胶结块”和石膏薄层，地面遍布边长50~60cm的五边形或六边形砂缝，砂缝成楔形，切深60~70cm，地面宽10~30cm。“盐胶结块”易溶盐含量通常为20%~40%，最大可达55%，胶结物主要由NaCl，Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>，CaCl<sub>2</sub>，Ca(OH)<sub>2</sub>组成，一般情况，NaCl含量达20%以上，Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>含量为5%左右。古老戈壁为新的近代冲沟所切割，冲沟中1m内的易溶盐含量甚微，一般小于1%。机场地域属西北干旱荒漠气候区，潮湿系数小于0.25，年降水量30~50mm，蒸发量大于3000mm，飞行地带潜水位埋深13.0~15.7m，最大冻土深度1.0m。

从上述实际资料分析可知：

(1) 该场地应属于硫酸—氯化强盐渍土区，为不适于建筑的特殊岩土场地；

(2) 场地强盐渍化程度有其特殊的区域环境因素：一是山前第三纪和山地其它含芒硝和石膏地层，为洪积扇提供了盐的物质来源；二是在洪积扇形成的地质历史上有潜水位埋藏较浅的时期，在戈壁砂砾毛细作用和强烈蒸发作用下，使盐分在浅层地表强烈集聚，曾有过洪积扇盐渍化的历史地质过程；三是场地盐渍化过程中，荒漠气候使地面龟裂，风砂充填裂缝，为盐分的运移和集聚也提供了良好的通道。

### 1.2 机场人为作用的工程地质因素

首先，含有大量“盐胶结块”的天然地基没有进行工程处理，人工基础层（垫层）又使用了强盐渍化的天然戈壁砂砾石，这便形成了道面破坏作用的物质因素或基本前提。实验说明，该场区当道面下（人工基础和天然地基）硫酸盐含量超过0.8%时，道面即产生凸起破坏，破坏部位的易溶盐总量平均含量一般大于3%；其次，施工用水，大气降水，天然地基中的气态水，在道面覆盖前后，在强烈蒸发作用下，为盐向上运移提供

了条件。地面下天然戈壁0~8m深度内,天然含水量仅2%~5%,当道面覆盖后,道面下3m深度内含水量要高出天然戈壁含水量2%~6%,而当人工基础和天然地基中含水量达到4%~6%时,就可以发生带盐的液态水运移过程。实际施工洒水碾压中,洒水量已达到了11~15kg/m<sup>2</sup>和20~30kg/m<sup>2</sup>,地基含水量已构成了盐的运移条件。再者,当道面覆盖后,天然和人工基础形成新的水温环境,地基土中形成的Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>吸收水分,结晶析出,产生相当的体胀力,又在日温差和年温差(大于37°C)悬殊的情况下,Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·10H<sub>2</sub>O的结晶和溶解过程形成昼夜和季节性周期性体胀和松散变化,以致造成了道面破坏的恶性循环的环境条件。有关资料说明Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>在低于32.4°C温度时开始结晶,在0°C时其溶解度仅为10%,在0°C~32.4°C溶解度可增加6.4倍,结晶时(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·10H<sub>2</sub>O)体积膨胀接近2倍,可产生440kPa的胀力,因此,道面因不良的环境工程地质因素遭受破坏是肯定的。

### 1.3 应该吸取的教训

基于历史原因,对该机场的自然历史地质条件没有正确认识,也没有人为作用工程地质因素的环境概念,更涉及不到两种作用对工程影响的预测和灾害防治(如盐渍土处理、基础材料选择、控制施工碾压用水量、设置隔离层、隔断层防止盐在道面下的集聚等等),而因环境工程地质问题使机场建设遭到失败,接受历史的教训,该是我们的责任。

## 2 机场环境工程地质要素

1994年在新疆库尔勒地区勘选欧亚航路上乌鲁木齐备降场,由于已有库尔勒机场的空间限制,新场址选在了霍拉山山前洪积扇裙的前缘,孔雀河冲积三角洲西北侧边缘的交汇地带,并位于塔克拉玛干大沙漠的东北边缘附近。其场址的岩土成因类型、微地貌形态、水文地质条件及不良工程地质问题均较为复杂。

这个拟选场址地形比较平坦,空间条件可以满足飞行要求,但环境工程地质条件在新疆这样辽阔的可选地区,这个场址又是比较独特的。

其一,从自然历史地质环境条件看,此地带主要分布第四系中、上更新统,全新统的洪积、冲积、风积和沼泽堆积层等多相沉积物,浅层主要由灰黑色软塑的粉质粘土和粉细砂组成,并非以戈壁砂滩为主的地段。潜水位埋藏很浅,一般1~3m,低凹地段近于地表或出露地面形成沼泽。场址西端有少量半固定砂丘分布。场址海拔高程900m,气候区属于南疆绿洲—荒漠区的北缘,天山山界以南,年平均降水量52.6mm,最大100.2mm;年蒸发量27788.2mm,冻土深度63cm,2m深度内土的易溶盐含量最低值0.5%,已属盐渍土地区,含盐性质属于氯—硫酸盐渍土类型。孔雀河在场址南1km通过,河水年平均流量38.63m<sup>3</sup>/s,年径流量12亿m<sup>3</sup>,与场址水力联系密切。

由上述分析,场址岩土成因类型复杂,地下水位埋藏浅,有局部洼地沼泽,地基强度不高,有风砂堆积影响等,因此场址的自然工程地质环境并不理想。

其二,从人为作用的地质环境条件看,场址位于通往南疆的314国道以南,新疆建设兵团大面积农田灌区下方,属于灌区排“盐碱”地带的边缘,次生盐渍化明显,发展速度很快,场址盐结白霜和松散盐壳明显,实验结果表明,此种地段,易溶盐含量最大可达27.72%,以氯—硫酸盐为主。人为的灌溉作用,场址次生盐渍化形成和发展,已构成了对新建机场不利的环境因素。

其三,此场址有不利的自然地质环境因素,也有不利的人为作用的地质环境,在两种不利因素的综合作用下,若机场工程实施,则由于道面大面积覆盖,地表水文网变化,道面下温度、湿度、盐渍化程度新的状态平衡建立,地面风沙的影响和堆积等等新的

环境地质因素的作用下会更加复杂化。因此,进行机场工程地质环境预测是完全必要的,从而制定对灾害的(或不良的)工程地质问题的防治措施。对于这个场址可以预料,其道面设计高程必然提高;应设置隔离层以隔断毛细水将盐分向上部运移;应改善农田排灌的水文网系统,减少场址次生盐渍化的快速生成条件;设置防护林带以减少风沙对飞行的影响,并阻止风沙向机场搬运堆积等等。

总之,库尔勒选备降机场场址,其环境工程地质条件对机场建设的实施和运营均不理想。因此,在不影响布局和飞行的情况下,调整位置,选择环境工程地质较好的地段做为备降场场址,是比较妥当的。

### 3 甘肃中川机场改扩建工程的环境工程地质问题

中川机场地处陇西黄土高原,梁峁丘陵区,秦王川盆地的西南边缘,地形北高南低,自然坡度7%,海拔高程1920~1940m。地层由第四系全新统,中、上更新统黄土状粉土、角砾夹粉质粘性土组成,总厚度33~54m,其下为第三系红层(泥岩、泥质砂岩)。拟建场地表层黄土状粉土,北段厚度小于3m,中段至南段厚度3~17m,具II级和III级自重湿陷性。场区潜水位埋深22~39m,年降水量250mm,蒸发量1800~2000mm,冻土深度1.46m,表层土易溶盐含量一般小于0.3%,场区地震基本烈度属8度区。

由上述可知,中川机场的岩土类型和岩土性质、地下水状况、盐渍化程度、地震诸多自然地质环境因素,场区应属一般场地。

但现有机场道面,自70年代初建成使用至今20多年中,道面区工程病害不断,如道面裂缝、道面下脱空、道面变形等现象。据统计,道面地基病害占跑道总面积的约40%,道面病害占跑道总面积的60%。这种情况的出现,除因设计和施工因素,主要是

道面施工之初未对跑道自重湿陷性黄土地基进行有效的处理,同时,地基中大量分布着明暗不同,深浅不一的砂坑、竖井、平巷,是道面不稳定的重要原因。

由于病害的影响,机场的改扩建已不宜在原道面位置上实施,拟扩建的道面区域面临的首要任务是,处理人为作用的环境工程地质因素(或条件)的影响,主要有二:

其一,陇西黄土高原地区,当地农民几百年来,有挖取地面以下砂砾石,盖农田地表以达保墒作用的传统习惯。砂坑,竖井,井下放射状平巷遍地皆是,深浅不一、大小不等,充填塌落情况不详,这就形成了改扩建机场典型的人为作用环境工程地质因素。经初步探测,在拟建飞行地带,已有地下井、洞、巷的各类异常带200多个;场地北段地面,有大小明挖砂坑约20多个,深0.6~6.0m,直径5~50m。拟建区暗埋的坑、井、洞、巷有百处以上,已塌落的也有数十个。此种历史的人为作用工程地质因素,已构成了机场复杂的地质环境条件之一。

其二,甘肃“八五计划”的大型水利工程,“引大入秦”引灌系统,1995年已经建成通水。这一引大通河水入秦王川盆地的引水渠道总长80km,过水流量 $32\text{m}^3/\text{s}$ ,年径流量4.5亿 $\text{m}^3$ ,灌溉面积86万亩。秦王川可得益年径流量2.6亿 $\text{m}^3$ ,灌溉面积约60万亩。该区域性的大型灌溉工程,将从根本上改变这一黄土高原盆地的自然和经济面貌。但同时会引起地下水位上升,地面的湿陷和部分地域的次生盐渍化。初步分析认为:由于灌溉,机场区7年后地下水位将上升5~10m或大于10m,地下水最终稳定约需50年以上的时间。

目前,国家和甘肃省有关部门正运用先进的工作程序和方法,为解决人工洞穴和水文地质变化问题进行细致的工作。

(下转第18页)

静载试验Q—S曲线图见图1。该工程选择3根桩进行慢速维持法试验，I号桩曲线比较圆滑，最大加载量1300kN，未出现明显拐点，因桩头破裂而终止加载，最大沉降量25.1mm。II号桩沉降较I号稍小，在加载至1400kN时沉降速率加剧，在1400kN后可能出现拐点，已接近破坏，此时桩顶沉降为27.2mm。III号桩沉降较I号稍大，在1200kN时，沉降32.5mm，且沉降速率加快，观测24小时未稳定，达到极限状态。与预估承载力606.5kN基本一致。

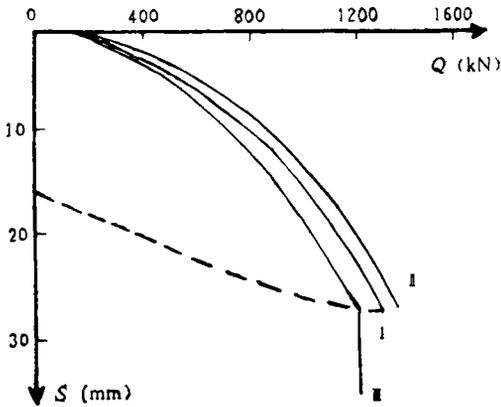


图 1 Q—S曲线图

### 3 小结

(1) 夯扩桩具有承载力高，施工方便，造价低等优点。其承载力值与场地工程地质条件密切相关，勘察报告的准确程度对桩基

的设计及单桩承载力的估算十分重要。我们在高青县勘察设计的8项夯扩桩工程中，场地地层厚度基本均匀，层位也相对稳定，一般选择埋深11.0~13.0m粉砂层作为桩端持力层，根据动测或静载资料，桩径 $\Phi 377$ mm，一次夯扩桩其单桩承载力在500~650kN之间，二次夯扩桩在650~750kN之间。根据我们的经验，黄河下游冲积土层多为粘性土与砂土交互并含有淤泥质软弱层，其容许摩阻力 $q_a$ 按规范应取下限值为宜。

(2) 夯扩桩为现场制作的灌注桩类型。现场施工应从桩长和贯入度两方面确保质量，以控制桩端进入持力层到达设计深度，并严格控制最后10击的贯入度。拔管速度应控制在1m/min左右，以防止缩径、离析及断桩现象的发生，保证桩身的完整性。

(3) 夯扩桩的检测原则上还应以静载荷试验为主，在有地区经验时根据动测试验检查，方法简捷、准确、可靠，且节省人力、物力，经济效果明显。

### 参 考 文 献

- 1 徐扬青. 夯扩桩和粉喷桩的应用比较. 水文地质工程地质, 1996, 3
- 2 金问鲁. 地基基础实用设计施工手册. 中国建筑工业出版社, 1995, 11
- 3 林在贯、高大钊. 岩土工程手册. 中国建筑工业出版社, 1995, 4

(上接第42页)

综上所述，以中川机场运营20多年的工程经验教训为基础，考虑机场自然历史地质环境和人为作用工程地质因素（或条件），中川机场已形成了复杂的环境工程地质条件。因此，对机场改扩建工程的实施和运营中的环境工程地质问题进行预测，是很必要的。其中包括：上部自重湿陷性黄土；下部角砾层的岩土工程性质；地面沙坑、塌陷坑

洞，暗埋洞穴、竖井、平巷；“引大入秦”灌溉工程对场区水文地质环境的影响；地下水位上升幅度；湿陷对地表地形地貌的改造；施工振动；地震作用；道面的覆盖；飞机运营荷载等环境因素的综合作用，进行中川机场环境工程地质的科学分析、评价、预测，以制定合理的工程实施措施，决定灾害的防治政策，从而保障该机场工程实施的顺利和运营过程的安全稳定。