天山乌鲁木齐河源地区电测深 资料的推断^①

曾仲巩 邱国庆 (中国科学院兰州冰川陈土研究所)

提 要 解释 1989 年在乌鲁木齐河源地区完成的 12 个直流电测深曲线,得到以下 一些结果:大西沟气象站附近(海拔 3 540 m 左右)多年冻土厚度为 50—70 m,空冰斗内 (3 870 m 左右)冻层厚度增大到 90—100 m.5 号石冰川表现出高的电阻率,可能岩屑富 含孔隙冰。1 号冰川东北冰舌末端当年消融退缩的地段内含有接近 2 m 厚的埋藏冰川 冰,而在 4—5 年前形成的前碛中,埋藏冰川冰体已消融掉。

关键词 直流电测深 多年冻土厚度 石冰川 埋藏冰川冰

天山乌鲁木齐河源是我国开展现代冰川研究最早、最系统和最深入的地区,目前已 成为研究高山冰川和多年冻土的重要基地。但是由于没有开展钻探工作,对现代冰川前 沿埋藏冰的分布、石冰川和冰碛的内部组构以及多年冻土厚度分布,目前尚无实测资 料。1989 年 8 月,作者在该区进行了 12 个点的直流电测深 (图 1, 2),作者将这些资 料进行整理和解释,对区内上述问题作出推断。尽管提出的结果未经钻探检验,仍望能 对本区冰川和冻土的进一步研究有所俾益。





Fig. 1 Sites of the electrical D. C. resistivity sounding near the Daxigou Meteorological station

①本文于1990年1月8日收到,5月9日改回。

土



直流电测深采用施伦贝尔格对称四极装置,解释采用河南省地矿局物探队(1984)的 正反演程序,在 PC-1500 机上进行。应该指出,区内地形狭小,岩性又多变,施测时 装置以平行地形走向线为主,这不能不受到岩性接触面的影响,特别是在冰碛垄和石冰 川上工作,测点处在山脊或陡坡的中段,地形影响更难排除,因此有些曲线上升陡度往 往大于 45°。由于仪器操作不熟炼,也难免对观测精度造成影响。推断解释时我们先 对曲线进行圆滑处理,舍弃突变点及个别不合理曲线段。拟合以前段和中段为主,较少 考虑受干扰较大的后支。拟合误差一般取满足均方误差 0.05。

1 多年冻土厚度

据邱国庆等⁶⁵挖探资料,本区高山多年冻土下界在海拔3180—3300m之间,推测 阳坡下界可能位于3250m附近。

大西沟沟口地形相对开阔,我们在此地段布设了几个最大 AB/2 为 237 m 的测深 点(图 1),对多年冻土厚度进行探测,并为今后钻探设计提供依据。

测点 10 位于主--支沟交汇口的上方,该点附近地形走向与岩石走向基本一致(北西西)。此点曲线比较规则,拟合断面高阻层下界深度 39.8 m(图 3)。在该点与电探同时进行的坑探揭露,1.4 m 见融化面上小股水流,与低阻层下界深度 1.3 m 比较一致,推断的 13.6 m 的分界面可能为基岩(眼球状片麻岩)埋藏深度。

测点 12 位于交汇口下方的主沟之内,沟的走向(北东)与岩石走向(北西西)近于垂直,布极方向与岩石走向一致。据探坑资料,该点融深 1.3 m,多年冻土上限约 1.4 m,拟合的低阻层(138 Ω-m)厚度(0.93 m)稍偏小(图 4),而 7.86 m 的界面可能为片岩表

[「]邱国庆 et al., 1981, 天山站附近高山冻土与冰缘现象的一些新资料. 天山冰川站年报。





Fig. 3 Curve of electrical D. C. resistivity sounding and its deducted profile of site 10



图 4 12 号点电测深曲线及推断断面图

Fig. 4 Curve of electrical D. C. resistivity sounding and its deducted profile of site 12

面(阻值低于片麻岩), 19.9 m 以上的高阻层为冻结岩石。此点附近另外的 15, 11 及 19 三个测点(图 1),除后两点受山体影响曲线不规则性加大外,推断断面的结构和高阻 层厚度与 12 点基本一致。

空冰斗海拔在 3 800 m 以上,斗内盆地较开阔,我们选定 21 点以了解海拔较高处的冻土厚度。此点地形与布极方向都为北西,但是地面石环等分选物较发育,造成曲线前段畸变和脱节较大。拟合曲线时,作了保留和舍去 *AB*/2 小于 0.6 m 的点(反映近地面的干燥碎石表面层)两种处理,得到两个模拟断面,分别得到的高阻冻结层厚度为 63.1 m 和 46.4 m (图 5)。此点浅层冻结碎砾石土与沟口比较电阻率较高(前者 3 000-4 000 Ω-m,后者 2 100-2 200 Ω-m),与此点揭露的此点上限以下冻土含冰高相一致。另外,此点模拟断面冻结岩石电阻率高达 70 000 Ω-m,此处基岩为闪长岩,其电阻率比变质岩高是合理的(冻结片麻岩 10 000-20 000 Ω-m,冻结片岩约 3 000 Ω-m)。

±

13 卷



图 5 21 号点电测深曲线及推断断面图 Fig. 5 Curve of electrical D. C. resistivity sounding and its deducted profile of site 21

L. King et al. (1987)与W. Fisch et al. (1977)用电测深研究瑞士阿尔卑斯山的石冰川 和冰碛时曾经指出,作为对石冰川多年冻土厚度的估计,电测深倾向于给出最小值。他 们认为这是难以或不可能区别温度接近冻结点的多年冻土和非冻土的缘故。因为随温度 降低,冻结砂和砾石中明显的电阻率升高仅出现在约-1℃时,一些温度接近 0℃的低阻 多年冻土不能由电测深测出。由于这一原因,多年冻层下限实际上位于比用简单电阻率 模型计算的深度更大的深度上。考虑到这种情况,他们取模型计算深度加上 30—50 m 作为石冰川多年冻土的厚度,并取得了较接近实际的结果。本区冻结岩石以变质片麻 岩、石英片岩为主,不同于 King 等研究石冰川时所遇到的那种粗粒碎屑沉积,但是正 如岩石电性研究所指出的,岩石的冻结点一般都稍低于零度,在冻结点以下-2—-4℃ 的温度范围内电阻率为急剧上升区,在负零点几度时冻结岩石电阻率与融化岩石相差不 大。我们和苏联冻土物探工作者(如 Каленов)的实践也发现用三层量板解释电测深 曲线,多数情况下其结果往往大大减少了冻层下限的埋藏深度①。由此看来,对上面我 们得到的模型作出修正是完全必要的。

取 30 m 作为修正深度,我们得到各点的推断断面(图 3—5)。由此对本区多年冻 层厚度推断的结果为:大西沟气象站附近(海拔 3 540 m 左右)50—70 m,空冰斗内 (3 870 m 左右)90—100 m。与空冰斗海拔相近,1986 年在1号冰川东支 3 854 m 高度 深孔温度观测资料(中国科学院兰州冰川冻土研究所,1988),接近冰床处90 m 的深 度上温度约为-1℃,若其下存在约30 m 的多年冻层,则冰川与多年冻层的总厚度约为

①中国科学院兰州冰川冻土沙漠研究所,1978,近年来苏联冻土物探概况,冰川冻土沙漠科技情报资料,冻土部分之二。

120 m。考虑到冰川冰比冻土导热率、高散热快,可以间接说明我们对空冰斗内多年冻 层厚度 90—100 m 的估计是接近实际的 (或略为偏小)。

2 1 号冰川前沿埋藏冰川冰的分布

本河源区的1号冰川是我国研究工作最为详尽的高山冷冰川,最近10年来,冰川 雷达,热水钻,蒸汽钻相继试验成功以及在冰川下开挖冰洞,为冰川厚度、运动和冰物 理研究开拓了途径,这些研究的深入又涉及到冰川前缘埋藏冰的分布问题。探测埋藏冰 川冰,雷达是一种较好的方法,但电测深能否在这方面取得某些有用的资料呢?我们在 冰川东北侧前沿地区内作了三点测量(图2)。

17 点位于东支冰洞口偏北约 5 m 处(图 2)。西距冰舌 3 m, 据设置的冰川退缩标记 记载, 1988 年 11 月冰舌末端离标记石的距离为 12 m, 我们工作时用测绳量测, 测点 距标记石 12 m, 由此推测此点位于 1989 年消融季节初期冰川消融退缩后的地段内。

16 点位于西支老冰洞附近, 18 点在 17 点以南(图 2)。据 1986 年版 1 和 2 号冰川 图,该两点的冰川分别是 1984 年左右和 1973—1980 年间退出的。

17 和 16 两点的实测曲线及模拟断面见图 6,7。其结果较为有趣,17 点地面 0.2— 0.3 m 以下有一厚约 1.6 m 的电阻率约为 100×10⁴ Ω-m 的极高阻体,而其它两点曲线 有不断上升的趋势,分别在深度 6 和 11 m 处才出现约 75 000 Ω-m 及 21 600 Ω-m 的高 阻体。对此我们可作如下解释:17 点由于冰川刚退出,保留了 1 m 多的埋藏冰川冰, 其余两点冰川退出之后埋藏冰川冰已在几年内融化掉。据 L. King et al.(1987)的测量资 料,冰川冰电阻率为 10—50MΩ-m,多年冻土电阻率为 10 000—900 000 Ω-m。作者 1973 年在乌鲁木齐河源 1 号冰川的电测深试验资料,冰川冰电阻率为 10⁶—10⁸ Ω-m, 我国多年冻土地区多年冻土(岩)电阻率范围为 10³—n · 10⁴ Ω-m。显然此点(17 点)



图 6 17 号点电测深曲线及推断断面图 Fig. 6 Curve of electrical D. C. resistivity sounding and its deducted profile in site 17



13 卷

174

2

Fig. 7 Curve of electrical D. C. resistivity sounding and its deducted profile in site 16

测得的 100×10⁴ Ω-m 的电阻率比多年冻土(岩)的电阻率至少高一个量级。在1号冰川 末端,我们也见到冰川底部暴露的冰川冰含有较多的泥砂和砾石,这种含杂质的冰川冰 埋于地下而温度接近融化状态时,显示约 100×10⁴ Ω-m 的电阻率是完全可能的。因 而可以把 17 点不足 2 m 的高阻体推断为埋藏冰川冰。也正是由于这种冰体薄并接近地 面,处于夏季热量所能融化的深度范围内,在几年之内它们被逐渐融化掉,因而 16 和 18 点已不存在埋藏冰川冰。

上述三测点靠近冰川,电极走向取近于垂直沟谷走向的近南北方位,受地形限制不 能布置较大的电极距,不能对多年冻土厚度作出推断。除此之外,岩层走向与布极方向 近于垂直,冰川前方类似透镜体状的埋藏冰川冰的存在,都会对电场分布产生严重的影 响。无疑在冰川前沿地区开展工作,这些因素对电探方法的使用以及资料解释有重要的 影响,对这些干扰,工作中应予充分考虑。

3 5号石冰川的内部组构

L. King et al.(1987)和 W. Fisch et al. (1977)用直流电测深研究瑞士阿尔卑斯山的石 冰川和冰碛,在确定石冰川多年冻土和松散堆积物厚度以及区分埋藏冰川冰和孔隙冰等 内部组构上得到了经验。本河源区发育诸多的冰碛垄、石冰川、倒石堆、泥流舌等,若 电测能为这些冰缘地貌的研究提供某些信息,无疑将是一大成功。我们在5号石冰川和 空冰斗内的新冰碛垄上作了三个点的试验。

13 和 14 点布置在 5 号石冰川上(图 1),该石冰川为叶状石冰川,长 55 m,宽 130 m,朝向北西,坡度 30-41°①,前缘高 30-40 m。鉴于本区石冰川规模比 King 等试

①朱诚, 1987, 天山乌鲁木齐河源区石冰川及其它块体运动的形成过程及机制(硕士论文)。

验的石冰川小,我们采用的极距最大 AB/2 不足 100 m,因此工作只能对浅层堆积物 的性质作些定性分析,而不能对堆积物和多年冻土厚度进行估计。14 点测深曲线示于 图 8。两点的拟合模型分别表示在 1.5 m 和 1.97 m 以下电阻率达 157 000-245 000 Ω-m。从上面我们提到的冰川冰和多年冻土(岩)电阻率量级,可能的解释是,这些石冰 川 10-20 m 的浅层内不存在埋藏冰川冰, 而堆积物孔隙内富含孔隙冰。





Fig. 8 Curve of electrical D. C. resistivity sounding and its deducted profile in site 14

在空冰斗内的新冰碛垄上我们还作了20号测点,该冰碛垄长宽都不足100m,而 高度大于 60 m。受山脊地形强烈影响,不同MN / 2段曲线脱节大。从曲线的趋势,无 疑堆积物内存在高阻体,但为孔隙或冰川冰并不清楚,要进行判定,应进一步加大极距 测量,可惜冰碛垄规模太小而不能达到。

综上所述,可以得出:

2期

(1)本区冰川冰电阻率量级为 10⁶—10⁸Ω-m,含孔隙冰堆积物几万至 20 万 Ω--m, 一般多年冻土(岩)1000 至 7--8 万 Ω--m 融化岩石 100--10000 Ω--m, 与国外资 料对比,冻结物的电阻率一般偏小,这可能与其温度偏高有关。

(2) 本区多年冻层厚度随海拔增高从 50—70 m 增大到超过 100 m。5 号石冰川碎 屑物质含有较丰富的孔隙冰。1 号冰川前沿冰川新退出地段有 1-2 m 厚的埋藏冰,此 冰体在数年内将消融掉。

(3) 电测深在区分埋藏冰川冰、孔隙冰和对多年冻土厚度进行估计是有效的。但解 决这些地质问题部分情况下受地形的制约。温度接近零度的高温冻层其电阻率与融土 (岩)电阻率难以区分,对电测深曲线作精确的定量解释以确定冻层厚度可能是困难的, 而用 King 等的方法可对冻层厚度作出近似估计。

土

13 卷

参考文献

中国科学院兰州冰川冻土研究所, 1988. 中国冰川概论. 北京: 科学出版社

冰

河南省地矿局物探队,1984. 对称四极直流电测探正反演PC-1500机的程序. 物化探计算技术, 6(2)

L King, W Fisch et al., 1987. Comporison of resistivity and radio-echo soundings on rock glacier permafrost Żeitschrift fur Gletscherkund und Glazialgelogie. Band 23, H. 1

W Fisch et al., 1977. Electrical D. C. resistivity soundings with long profiles on rock glaciers and moraines in the Alps of Switzerland Zeitschrift fur Gletscherkunde und Glazialgelogie. Band 13 H 1/2

Explanation of Electrical D. C. Resistivity Sounding at the Head Waters of Urumqi River, Tianshan

Zeng Zhonggong and Qiu Guoqing (Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

The thicknees explanation of 12 curves of electrical D. C. resistivity sounding obtained from the head of Urumqi River leads to the following conclusions:

1. The thickness of permafrost is about 50—70 m at the sites around the Daxigou Meteorological Station (about 3 540 m a. s.l.), and increases to 90 or 100 m in the empity cirques (about 3 870 m a.s.l.).

2. The high resistivity of the No. 5 rock glacier implies a high ice content in the pore of the rock glacier.

3. There is a buried glacial ice body with the thicknees of 2 m at the site just exposed from the ice tongue of Glacier No. 1. The buried ice body in the moraine, however, formed 4 or 5 years ago has been melt already.

Key words: electrical D. C. resistivity sounding, thicknees of permafrost, rock glacier, buried glacial ice