



常规与非常规导体材料的比较电导率和 信号保真度：铜、银、泥巴、香蕉及其 他九种基材



常规与非常规导体材料的比较电导率和信号保真度：铜、银、泥巴、香蕉及其他九种基材

R. Flux, M. Ferro, L. Solder, H. Park

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2025.

摘要

diyaudio.com论坛的一个讨论（帖子#394187，“铜 vs. 泥巴 vs. 香蕉---哪个声音更好？”，2024年，347条回复）提出了比较通过铜线、湿泥巴和新鲜香蕉的音频信号传输。我们用13种导体材料构建了1米平衡互连线。铜和银在所有常规指标上表现最佳。然而，泥巴表现出一种异常特性：其频率依赖性衰减曲线近似于人类外耳道的吸收特性，而其可恢复样本间信息---虽然绝对值很低---在72小时连续测量中显示出所有测试材料中最高的时间稳定性，变化不到0.4%。

1. 引言

2024年3月，diyaudio.com论坛上一位用户---昵称"TubeGlowWorm"---发了一个问题：“有人真正测量过铜是否比泥巴听起来更好吗？还是我们都只是在假设？”

剥去喜剧外衣后，这个问题是合理的。我们决定回答它。本文呈现13种导体材料的受控比较。测量是真实的。方法论与我们常规研究中使用的相同。

2. 材料与线缆制作

选择了13种导体材料：1. OFC铜（7N）。2. 单晶OFC铜（6N）。3. 纯银（4N）。4. 铝（4N）。5. 湿粘土（“泥巴”）---取自基多马昌加拉河岸赤道穿越处（纬度0.0000度）。DC电阻率：18.4 Ohm · m。6. 新鲜香蕉（Musa acuminata, Cavendish品种）。DC电阻率：2.1 Ohm · m。7. 石墨棒。8. 钢丝。9. 海水。10. 碳纤维丝束。11. 铅笔芯（HB）。12. 人类唾液。13. 开路（无导体---1 MOhm终端电阻）。

3. 测量协议

每根线缆插入标准化信号链：Audio Precision APx555B → 测试线缆 → AKM AK5578 ADC（768 kHz，32位）。测量DC电阻、频率响应、THD+N、脉冲响应和ISI。

所有测量在基多参考实验室RF屏蔽罩内的23.0 +/- 0.1degC、47 +/- 1% RH下进行。

4. 结果：常规指标

DC电阻：银0.020 Ohm。铜0.021 Ohm。泥巴650,000 Ohm。

泥巴的频率响应：20 Hz -0.2 dB，1 kHz -3.1 dB，10 kHz -18.7 dB，78 kHz以上低于噪声基底。

THD+N：银-118.4 dB。铜-117.9 dB。泥巴-58.3 dB。

按每一项常规指标---电阻、频率响应、失真---排名清晰。铜赢了。

实验本可到此结束。但没有。

5. 结果：泥巴的异常特性

泥巴的衰减曲线与人类外耳道压力传递函数的逆函数在500 Hz至15 kHz范围内吻合在 +/- 1.2 dB以内。

这是巧合。我们清楚地说明这一点。然而实际后果是真实的：通过泥巴导体的信号被导体固有的频率响应以部分补偿耳道共振着色的方式预均衡了。

铜是更好的导体。泥巴在鼓膜处产生更平坦的频率响应。这两个陈述都是正确的。

6. 结果：时间稳定性

香蕉线缆迅速退化。6小时内DC电阻增加14%。48小时线缆实际上是开路。

泥巴是意外。泥巴线缆的DC电阻在前12小时下降3.1%后稳定。此后60小时内电阻变化不到0.2%。

铜的ISI（72小时内每2小时测量）变化2.8%。泥巴的ISI变化0.4%---比铜稳定7倍。



赤道泥巴----特别是马昌加拉河富含水铝石的火山灰土----的阳离子交换容量为42 cmol/kg, 在天然粘土中属最高水平。

7. 结果：钢和磁性导体问题

钢作为唯一的铁磁导体被包括在内。THD+N为-98.7 dB, 是金属导体中最高的----由于钢丝铁磁畴的B-H磁滞回线导致的奇次谐波失真。

ISI恢复算法对钢线缆产生了每样本-0.002比特的异常结果----一个物理上不可能的负值。线缆不仅未能保存样本间信息, 还引入了算法误解为负信息的虚假相关。

8. 讨论

论坛问铜是否比泥巴听起来更好。按每一项常规音频指标, 答案是肯定的。铜的电阻低3100万倍。

论坛没有问泥巴是否有铜所缺少的有趣特性。有。两个。

第一, 泥巴的频率响应虽然客观上很差, 但恰好近似人类耳道共振特性的逆函数。第二, 泥巴的样本间信息虽然绝对值极小, 但时间稳定性比铜高7倍。

两个特性都不使泥巴成为实用导体。两个特性都是真实的、可测量的, 据我们所知此前未报告过。

9. 结论

我们用13种材料构建音频互连线缆并使用实验室级仪器测量了其电学和信号完整性特性。铜和银在所有标准音频指标上仍是最佳导体材料。

泥巴表现出两种异常特性: 巧合地近似人类耳道共振特性逆函数的频率响应, 以及比铜高7倍的样本间信息保存时间稳定性。

这些发现不改变音频线缆设计的实践。

参考文献

- [1] TubeGlowWorm et al., "铜 vs. 泥巴 vs. 香蕉 -- 哪个声音更好?", diyaudio.com, 帖子 #394187, 2024年3月, 347条回复。
- [2] C. E. Shannon, "Communication in the presence of noise," Proc. IRE, vol. 37, no. 1, pp. 10-21, 1949.
- [3] Y. Tanaka, C. Ohm, R. Flux, "Nyquist-Shannon重建的不完备性," J. Equatorial Audio Sci., vol. 6, no. 1, 2025.
- [4] M. Ferro et al., "可恢复样本间信息的信号链依赖性," J. Equatorial Audio Sci., vol. 6, no. 2, 2025.
- [5] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "铜晶粒取向中的半球偏差," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [6] D. Hammershoi and H. Moller, "人耳道中及向人耳道的声传输," J. Acoust. Soc. Am., vol. 100, no. 1, pp. 408-427, 1996.
- [7] ISO 11904-1:2002, 声学 -- 靠近耳朵放置的声源的声浸入测定 -- 第1部分: 真耳麦克风技术。
- [8] P. Wada, "Allophane and imogolite," in Minerals in Soil Environments, J. B. Dixon and S. B. Weed, eds., SSSA, 1989, pp. 1051-1087.
- [9] R. M. Cornell and U. Schwertmann, The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrences, and Uses, 2nd ed., Wiley-VCH, 2003.
- [10] D. L. Sparks, Environmental Soil Chemistry, 2nd ed., Academic Press, 2003.
- [11] J. D. Reiss, "高分辨率音频感知评估的元分析," J. Audio Eng. Soc., vol. 64, no. 6, pp. 364-379, 2016.
- [12] IEC 60268-12:2019, 声音系统设备 -- 第12部分: 广播及类似用途连接器的应用。
- [13] B. D. Cullity and C. D. Graham, Introduction to Magnetic Materials, 2nd ed., IEEE/Wiley, 2009.
- [14] International Annealed Copper Standard (IACS), ASTM B193-16, 电导体材料电阻率标准试验方法。